

Авторы: Демина Ю.А., Демина Е.Г., Демин А.В.

В настоящее время важнейшую роль в проведении качественного контроля приборов играют условия контроля. Исследования, отраженные в данной статье, направлены на решение проблемы ускорения и повышения качества контроля манометрических приборов, таких как датчики-реле температуры (терморегуляторы с чувствительным элементом и сильфоном). Решение этой проблемы связано с проведением комплексных теоретических и экспериментальных исследований процессов теплообмена в специальной барокамере с целью достижения необходимой температуры её воздушной среды, влияющей непосредственно на скорость и качество контроля, погружаемых в барокамеру контролируемых приборов.

На основе ранее проведенных исследований, результаты которых отражены в рецензируемых журналах, был предложен подход, основанный на том, что заданные температурные режимы в барокамере устанавливаются с помощью термоэлектрических модулей, выделяющих или поглощающих тепловую энергию на одной из их сторон (пластин) в зависимости от величины и направления протекающего через них электрического тока.

Контроль качества прибора осуществляется следующим образом: чувствительный элемент контролируемого прибора погружают в жидкостной термостат, в котором поддерживают постоянную температуру, а на сильфон прибора воздействуют давлением в соответствии со значениями контрольных точек.

При этом температура сильфона контролируемого прибора должна соответствовать нормальным условиям контроля и быть выше температуры жидкостного термостата. В противном случае под воздействием избыточного давления в барокамере может произойти недопустимая деформация сильфона, которая может вызвать изменение механических характеристик контролируемого прибора. (Вайнштейн, В.Д. Низкотемпературные холодильные установки / [Текст] Вайнштейн В.Д., Канторович В.И. - М.: "Изд-во Пищевая промышленность", 1972. - 342 с, стр. 199). Поэтому необходимо в барокамере поддерживать постоянную температуру в пределах нормы.

Но при быстром подъеме и сбросе давления происходят недопустимые скачки температуры воздуха в барокамере. Отсюда следует, что быстроты и качества контроля приборов невозможно достичь без стабилизации температурных режимов в барокамере. Поэтому предложен подход, основанный на том, что заданные температурные режимы в барокамере (воздушном термостате) и в жидкостном термостате устанавливаются с помощью термоэлектрических модулей, выделяющих или поглощающих тепловую энергию на одной из их сторон (пластин) в зависимости от величины и направления протекающего через них электрического тока.

Модуль воздушного термостата представлен на рисунке 1, где 1 – крышка камеры; 2 – термоэлектрический элемент (модуль Пельтье); 3 – радиатор; 4 – двигатель

Автор: Александр
03.02.2009 14:55

циркуляционного насоса; модуль жидкостного термостата: 5 – кожух теплообменника; 6 – радиатор теплообменника; 7 - термоэлектрический элемент; 8 – радиатор; 9 – теплоизоляция.

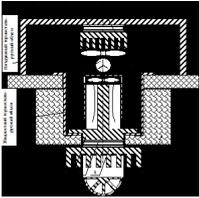


Рисунок 1 – Схема барокамеры с использованием термоэлектронных модулей

Управление температурными режимами барокамеры представляет собой систему автоматического регулирования (рисунок 2), в которой роль исполнительных устройств играют термоэлектрические модули. В зависимости от направления и силы проходящего через них электрического тока осуществляется нагрев или охлаждение термостатируемой среды барокамеры.

Значение температуры в барокамере T подается на устройство управления, которое выработывает управляющее воздействие t на источник тока. Регулируемая величина тока I с выхода источника поступает на термоэлектрический модуль через управляемый коммутатор, изменяя тепловой поток Q_0 , отдаваемый модулем в объем камеры. Температура камеры T отслеживается датчиком температуры.



Рисунок 2 – Структурная схема управления температурными режимами барокамеры

t – управляющее воздействие; I – величина тока; Q_0 – тепловой поток от модуля Пельтье; Q – тепловой поток, вносимый в результате нагнетания или сбрасывания давления и тепловой поток от стенок камеры; T – температура барокамеры.

Таким образом, установление нужной температуры в барокамере достигается за счет

Автор: Александр
03.02.2009 14:55

регулирования силы и направления тока, проходящего через термоэлектрический модуль Пельтье.

Алгоритм контроля терморегуляторов представлен схемой на рисунке 3. Контролируемые терморегуляторы 1 помещают в воздушную среду 2 барокамеры 3, а их чувствительные элементы опускают в жидкостной термостат 4. Датчики температуры 10, 11 отслеживают температуру в барокамере и в жидкостном термостате, а датчик давления 12 - в барокамере. Через аналого-цифровые преобразователи 13,14,15 и блок сопряжения 16 значения этих параметров передаются в программу управления. Программа управления принимает решение об изменении давления воздуха в барокамере по определенному закону в соответствии с модификацией прибора и подает соответствующий сигнал через блок регулирования давления 5, соединенный электрическими линиями с электроклапанами 6 с дросселями 7, подключенными к пневматическим линиям подачи и сброса воздуха. В момент замыкания контактной группы терморегулятора программа определяет соответствующую температуру срабатывания терморегулятора и делает вывод о его пригодности.

Программа управления так же связана с цифро-аналоговыми преобразователями 17, 18 с высокоточными выходами. Для стабилизации температуры воздушной среды и температуры холодильной ванны программа управления изменяет значение тока, протекающего через термоэлектрические модули 19, 20. В зависимости от величины и направления тока происходит нагрев или охлаждение теплообменников 21, 22, при этом теплообменники 23, 24 помещаются во внешнюю среду. Вентиляторы 25, 26,27, 28 предназначены для усиления теплообмена.

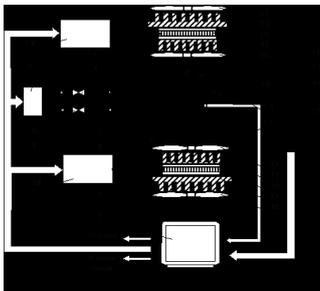


Рисунок 3 - Схема управления системой тестирования терморегулятора

Решение задачи стабилизации температурного режима воздушной среды барокамеры связана с моделированием процессов теплообмена в сложной технической системе, которая состоит из большого числа разнородных элементов с различными размерами и формой, находящимися во взаимодействии между собой и окружающей средой.

При моделировании температурных полей сложных технических систем температурные поля элементов или частей системы обычно заменяют их средними температурами с

разной степенью детализации.

Наиболее общими уравнениями, которыми описываются процессы тепло и массопереноса в сплошных средах являются уравнение баланса и законы сохранения в интегральной форме.

Интегральное уравнение баланса теплоты для выделенного тела элемента системы или его части объемом V_i с ограничивающей поверхностью S_i [1]:

$$\frac{dQ_i}{dt} = \sum_j j_i - f_i V_i + \sum_k q_{ik} S_{ik} \quad (1)$$

где j_i – плотность теплового потока, выходящего из i -го тела; f_i - плотность интенсивности внутренних источников теплоты в i -м теле; T_i - температура i -го тела; V_i - объем i -го тела, ограниченного поверхностью S_i .

Считая распределение температуры в каждом i -м теле изотермическим с температурой T_i , введем следующие преобразования [1]:

$$Q_i = C_i T_i \quad (2)$$

где T_i , C_i – средняя температура и теплоемкость i – го объема;

Полная интенсивность внутренних источников теплоты:

$$f_i = \sum_k f_{ik} \quad (3)$$

Полный тепловой поток, пронизывающий поверхность i -го тела S_i , складывается из тепловых потоков, поступающих от остальных тел:

$$q_i = \sum_j q_{ij} \quad (4)$$

Тогда уравнение теплового баланса запишется в следующем виде:

$$C_i \frac{dT_i}{dt} = \sum_j q_{ij} - f_i C_i + \sum_k q_{ik} S_{ik} \quad (5)$$

где тепловые потоки описываются соотношениями вида:

$$q_{ij} = g_{ij} (T_j - T_i) \quad (6)$$

где g_{ij} – тепловая проводимость между i -м и j -м телом моделируют теплопередачу

Автор: Александр
03.02.2009 14:55

кондукцией, конвенцией и излучением между телами.

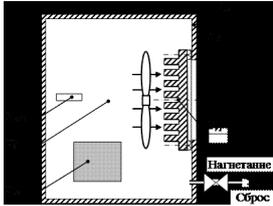


Рисунок 4 - Температурные точки термостатируемой барокамеры

На рисунке 4 использованы следующие обозначения: T_r – температура основания ребер радиатора теплообменника; T_{st} - стенки камеры (усредненная температура); T_V - воздуха в барокамере; T_{ob} - термостатируемый объект; T_{air} – окружающий воздух; T_{datT} – датчика температуры.

Считая распределение температуры в каждом теле системы, заключенной в объеме барокамеры, изотермическим, и учитывая, что теплообмен с поверхности тел осуществляется через воздушную среду барокамеры преимущественно конвективным путем, получим систему уравнений баланса теплоты:

$$\dots$$

(7.1)

$$\dots$$

(7.2)

$$\dots$$

(7.3)

$$\dots$$

(7.4)

где \dots – теплопроводность между i -м и j -м телом, \dots – коэффициент теплоотдачи на поверхности раздела i -го и j -го тел.

Интенсивность внутреннего источника теплоты F_V в воздушном объеме барокамеры связана с процессом нагнетания или сброса воздуха, которое сопровождается изменением термодинамических параметров воздушной среды, заключенной в объеме камеры

$$\dots$$

(8)

Автор: Александр
03.02.2009 14:55

где \dot{V} - массовый расход воздуха через проходное сечение клапана, кг/с;
 ρ – плотность потока выделяемой при этом тепловой энергии, Дж/кг с.

Наибольший интерес представляет моделирование процессов с высокими скоростями изменения давления, которым свойственен подкритический режим истечения воздуха через проходное сечение клапана [2]:

проходное сечение клапана [2]:

$$\dot{V} = \dots$$

(9)

$$\dots$$

(10)

$$\dots$$

(11)

где m_N, m_C – поправки, учитывающие как конструкцию клапана, так и физические свойства воздуха; f_N, f_C – проходное сечение клапана при нагнетании и сбросе, м²; p_N, p_C ; T_N, T_C ; p_V, p_C – параметры среды истечения воздуха при нагнетании и сбросе, Па, К; c_p, c_v - удельные теплоемкости воздуха при постоянном давлении и объеме соответственно, Дж/кг·К; R – газовая постоянная для воздуха, Дж/кг·К; C_V – полная теплоемкость воздушной среды барокамеры, Дж/К.

Термодинамические параметры воздуха, заключенного в объеме камеры, можно связать, например, уравнением состояния идеального газа

$$\dots$$

(12)

Система уравнений (7 – 11) представляет математическую модель термодинамических процессов, протекающих в объеме барокамеры, при высоких скоростях изменения давления.

Для описания процессов, связанных с термостабилизацией воздушного объема барокамеры, необходимо совместное решение рассмотренной модели с дополнительной системой уравнений, описывающей процессы теплопередачи от управляемого источника тепловой энергии к радиатору теплообменника термоэлектрического устройства (ТЭУ), помещенного в камеру.

Существует целый класс технических систем, конструкция которых может рассматриваться как асимметричная, что дает возможность ставить ей в соответствие одномерные теплофизические модели. Конструкция термоэлектрического термостата воздушной среды барокамеры позволяет ставить ей в соответствие одномерную

Автор: Александр
03.02.2009 14:55

тепловую модель составного стержня с разрывными теплофизическими характеристиками, описанную например в [1].

Согласно уравнению (2) каждому выделяемому объему V_i ставится в соответствие узел – i с температурой T_i и теплоемкостью C_i .

Преобразование правой части уравнения (1) зависит от расположения узлов в выделяемых объемах.

Конечные объемы преимущественно располагают так, чтобы их границы совпадали с границами разрыва теплофизических характеристик, а узлы выделяемых объемов совмещают с границами, разделяющими соседние объемы. Такое размещение автоматически обеспечивает выполнение граничных условий четвертого рода – равенства тепловых потоков и температур на границе разнородных материалов.

На рисунке 2 представлены температурные точки одномерной модели ТЭУ.

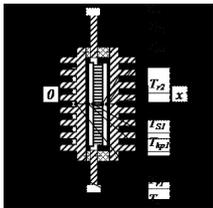


Рисунок 5 – Температурные точки ТЭУ

На рисунке 5 использованы следующие обозначения: $Tr1$, $Tr2$ - основание ребер радиаторов; $T_{кр1}$, $T_{кр2}$ - поверхности керамических пластин ТЭМ; $TS1$, $TS2$ - спаи ТЭМ; T_V - воздуха в барокамере; T_{air} – окружающий воздух.

И соответствующая система уравнений для выбранной одномерной тепловой модели ТЭУ имеет вид:

$$, \quad (13.1)$$

$$, \quad (13.2)$$

$$, \quad (13.3)$$

$$, \quad (13.4)$$

$$, \quad (13.5)$$

