

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДАТЧИКА ВЛАЖНОСТИ В КЛИМАТИЧЕСКОЙ КАМЕРЕ

**А.С. Кулик, профессор, д.т.н., В.В. Нарожный, доцент, к.т.н.,
А.Н. Таран, аспирант, Национальный аэрокосмический
университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ»**

***Аннотация.** Рассмотрен подход к диагностированию технического состояния датчика влажности в климатической камере, основанный на использовании зависимости относительной влажности воздуха от его температуры.*

***Ключевые слова:** климатическая камера, диагностирование, температура, влажность, аналитическая зависимость.*

Введение

Климатические камеры находят широкое применение во многих отраслях промышленности. Температурно-влажностным испытаниям подвергаются железобетонные конструкции, строительные материалы для возведения автодорог, продукция кабельных заводов и предприятий-изготовителей электроники, узлы и детали авиа-, авто- и космической техники, диагностическая аппаратура в метеорологии и геологии. Длительность испытаний при этом составляет для большинства изделий в среднем 180 – 480 часов. Важной характеристикой систем автоматического управления (САУ) такими объектами, наряду с точностью и быстродействием, является возможность самодиагностирования, так как неконтролируемый выход из строя датчика обратной связи или другого важного элемента системы может привести к дорогостоящему простоям в технологическом процессе, а также к потере партии изделий.

Анализ публикаций

В работе [1] для диагностирования технических систем предлагается применение сигнально-параметрического подхода, который основывается на использовании в качестве диагностических признаков отклонений выходных сигналов системы, а также отклонений параметров отказов от номинальных. Для этого изучаются аварийные состояния

системы управления при возможных отказах с целью построения математических моделей, отражающих аварийные и номинальные режимы функционирования. Исследование структурных и сигнальных свойств полученных моделей позволяет обоснованно произвести декомпозицию исходного математического описания, сформировать множество контрольных точек, выбрать требуемую структуру и характер управляющих сигналов, обеспечивающих полную диагностируемость системы в отношении множества возможных отказов.

В [2, 3] предлагается для улучшения качества диагностирования модифицировать бортовое измерительное устройство путем дублирования измерительных преобразователей и введения элемента внутреннего воздействия. В процессе работы устройства на измерительные преобразователи подается эталонное тестовое воздействие, полученные показания сравниваются с математической моделью номинального функционирования и на основании полученных отклонений производится диагноз о наличии или отсутствии отказа в системе, а также его виде и месте возникновения.

Некоторые методы диагностирования технических систем [4, 5] основываются на использовании аналитической избыточности, предполагающей существование двух или более способов определения значений пере-

менных системы, один из которых использует ее математическую модель, заданную аналитически.

Цель и постановка задачи

Целью данной статьи является применение существующих подходов к диагностированию состояния технических систем для выявления отказов датчиков влажности в испытательных климатических камерах типа тепло-холод-влага.

Результаты исследований

Рассмотрим в качестве объекта управления климатическую камеру типа тепло-холод-влага, наиболее часто применяемую в промышленности для проведения температурно-влажностных испытаний объектов различной природы. Обобщенная структурная схема камеры представлена на рис. 1.

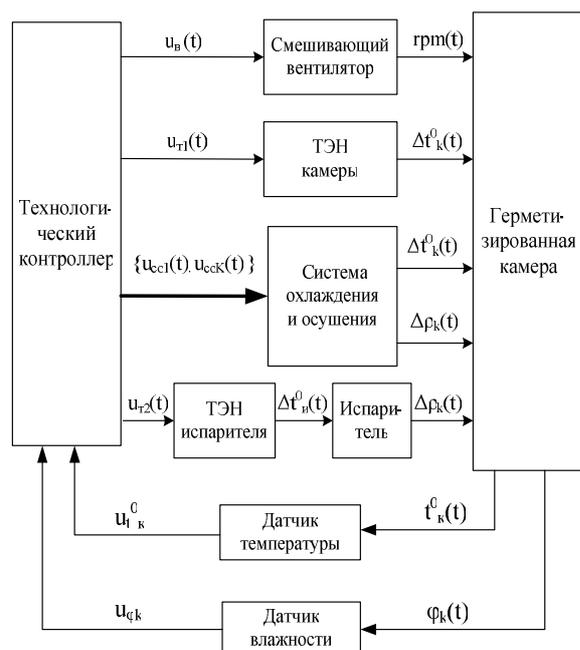


Рис. 1. Структурная схема климатической камеры типа тепло-холод-влага

Для задания температуры внутри теплоизолированной камеры обычно применяются термоэлектрические нагреватели (ТЭН) и одно- или двухкаскадная компрессорная система охлаждения. Для регулирования влажности используют электрический испаритель и конденсационный способ осушения с отбором влаги от одного из змеевиков системы охлаждения. Измерения температуры в большинстве климатических камер произво-

дится при помощи термпар или платиновых датчиков температуры. При измерении влажности в пределах от 10% до 98% при температуре воздуха от +5 °С до +90 °С наиболее часто используется психрометрический способ измерения, а также датчики влажности емкостного типа.

При психрометрическом измерении влажности воздуха низкий уровень или полное отсутствие смачивающей влажной термометр воды приводит к получению контроллером недостоверных данных о текущей влажности в камере. Датчики влажности емкостного типа имеют ряд преимуществ: более высокое быстродействие и точность, удобный для обработки контроллером тип выходного сигнала. Однако наряду с этим имеется и ряд недостатков: значительное увеличение времени переходного процесса при образовании налета на чувствительной поверхности, дрейф или полный выход из строя при воздействии паров химически активных веществ, выдача недостоверных показаний при образовании конденсата на поверхности датчика.

Исходя из вышеизложенного, становится очевидным, что в процессе работы камеры системе управления необходимо получать данные о техническом состоянии датчиков влажности и вводить корректировку в алгоритмы управления, а также производить остановку процесса испытания в случае полного выхода датчика из строя. Для диагностирования технического состояния датчика влажности предлагается использовать информационную избыточность, связанную с влиянием температуры воздуха внутри климатической камеры на его относительную влажность.

Относительную влажность воздуха измеряют числом, показывающим, сколько процентов составляет абсолютная влажность от плотности водяного пара, необходимой для насыщения воздуха при имеющейся у него температуре. График зависимости абсолютной влажности насыщенного воздуха от температуры представлен на рис. 2.

Исходя из приведенной зависимости получаем, что при изменении температуры воздуха внутри камеры его относительная влажность также изменяется. При этом абсолютная влажность воздуха остается неизменной.

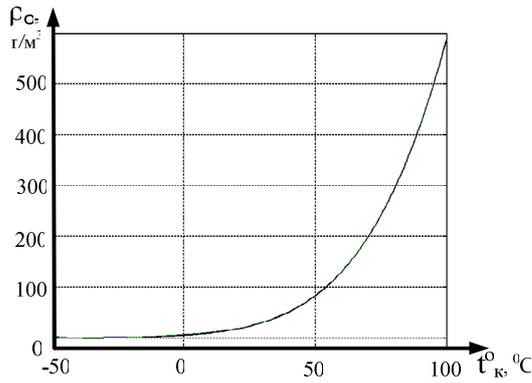


Рис. 2. Зависимость абсолютной влажности насыщенного воздуха от температуры

Для учета этой особенности можно воспользоваться аппроксимацией значений абсолютной влажности насыщенного воздуха при температурах от минус 50 °С до +100 °С. Эта зависимость имеет вид

$$\rho_0(t_k^0) = 2,973 \cdot 10^{-6} t_k^{04} + 1,764 \cdot 10^{-4} t_k^{03} + 0,0071 t_k^{02} + 0,3520 t_k^0 + 5,8064, \quad (1)$$

где t_k^0 – температура воздуха в камере, $\rho_0(t_k^0)$ – абсолютная влажность, необходимая для насыщения воздуха при данной температуре.

В свою очередь, относительная влажность воздуха определяется по формуле [6]

$$\varphi_k = \frac{\rho_k}{\rho_0(t_k^0)} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где ρ_k – абсолютная влажность воздуха в камере, φ_k – относительная влажность воздуха в камере.

Используя аналитические зависимости (1) и (2), а также показания датчика температуры, можно в процессе работы камеры оценить на какую величину изменится относительная влажность воздуха при изменении его температуры на некоторую величину Δt_k^0

$$\Delta \hat{\varphi}_k = \rho_k \frac{\rho_0(t_1^0) - \rho_0(t_2^0)}{\rho_0(t_1^0) \rho_0(t_2^0)} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где $\Delta \hat{\varphi}_k$ – аналитическое изменение относительной влажности, $\rho_0(t_1^0)$ и $\rho_0(t_2^0)$ – абсолютные влажности, необходимые для насы-

щения воздуха при начальной и конечной температурах.

Следует отметить, что зависимость (3) можно использовать в случае изменения температуры воздуха в камере при неизменной абсолютной влажности, вызванной включением ТЕНа камеры или теплопередачей через стенки. При понижении температуры в камере, вызванной включением системы охлаждения, необходимо учитывать, что вместе с понижением температуры воздуха происходит уменьшение его абсолютной влажности за счет конденсации влаги на холодной поверхности змеевиков охлаждения.

Скорость отбора влаги при включении системы охлаждения зависит от многих факторов: скорости движения воздуха в камере, площади и материала поверхности змеевиков охлаждения, разности температур воздуха и поверхности змеевиков и многих других. Эту зависимость очень сложно описать исходя из теоретических предпосылок, однако можно получить экспериментально, аппроксимировав ее функцией, зависящей только от разности температур воздуха и охлаждающей поверхности, так как другие параметры остаются в процессе работы неизменными

$$d\rho_k / dt = f(\Delta t_{\text{осуш}}^0), \quad (4)$$

где $d\rho_k / dt$ – скорость отбора влаги, а $\Delta t_{\text{осуш}}^0 = t_{\text{охл}}^0 - t_k^0$ – разность температур змеевика охлаждения и воздуха в камере.

Используя (4), а также учитывая инерционность системы охлаждения, получаем аналитическую зависимость изменения относительной влажности воздуха в камере при включении системы охлаждения

$$\Delta \hat{\varphi}_k = \rho_{k \text{ н}} \times \left(\frac{\rho_0(t_1^0) - \rho_0(t_2^0)}{\rho_0(t_1^0) \rho_0(t_2^0)} - \frac{\int_{t_{\text{н}}}^{t_k} f(t_{\text{охл}}^0(t) - t_k^0(t)) dt}{\rho_0(t_1^0) \rho_0(t_2^0)} \right) \cdot 100\% \quad (5)$$

где $\rho_{k \text{ н}}$ – абсолютная влажность воздуха в начальный момент времени, $t_{\text{охл}}^0(t)$ и $t_k^0(t)$ – температуры змеевиков охлаждения и возду-

ха в камере, t_n и t_k – начальное и конечное время диагностирования.

Текущую температуру змеевика охлаждения можно получить с дополнительного датчика температуры, а также исходя из аналитической зависимости конвективной передачи между средой и поверхностью [6]

$$c_{\text{охл}} m_{\text{охл}} dt_{\text{охл}}^o / dt = \alpha_{\text{охл}} S_{\text{охл}} (t_k^o - t_{\text{охл}}^o) - Q_{\text{хл}}, \quad (6)$$

где $\alpha_{\text{охл}}$ – коэффициент теплоотдачи от воздуха к змеевику охлаждения, $S_{\text{охл}}$, $c_{\text{охл}}$ и $m_{\text{охл}}$ – соответственно площадь, теплоемкость и масса змеевика охлаждения, $Q_{\text{хл}}$ – отдаваемое хладогену количество теплоты.

Исходя из имеющихся элементов климатической камеры и полученных зависимостей (1) – (5), можно построить структурную схему диагностирования технического состояния датчика относительной влажности (рис. 3).

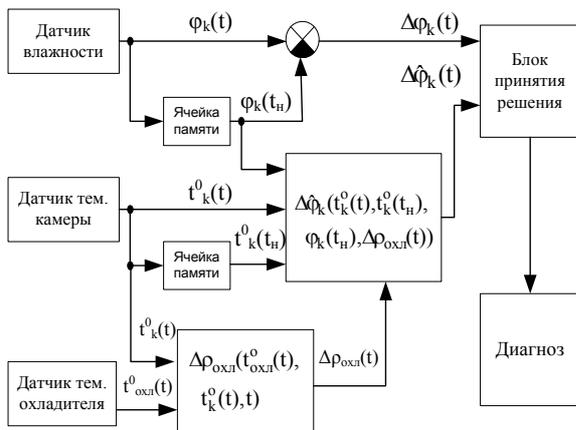


Рис. 3. Структурная схема диагностирования датчика влажности

В процессе работы климатической камеры в блок принятия решения поступает информация о текущем $\Delta\phi_k$ и расчетном $\Delta\hat{\phi}_k$ приращении относительной влажности и на основании разности этих сигналов вырабатывается диагноз о техническом состоянии датчика. При этом необходимо использовать режимы работы камеры и тестовые воздействия на исполнительные элементы, приводящие к изменению температуры воздуха в ка-

мере и существенно не влияющие на его абсолютную влажность.

Выводы

Предложенный подход к диагностированию датчика относительной влажности позволяет определять его техническое состояние при естественном или вынужденном изменении температуры воздуха внутри климатической камеры. Полученные в процессе диагностирования данные могут быть использованы системой управления для синтеза алгоритмов активного восстановления в случае возникновения отказа датчика.

Литература

1. Кулик А.С. Сигнально-параметрическое диагностирование систем управления. – Х.: Гос. аэрокосмический ун-т «ХАИ»; Бизнес Информ, 2000. – 260 с.
2. Нарожный В.В. Обеспечение активной отказоустойчивости модифицированных бортовых измерительных устройств: Дис... канд. техн. наук: 05.13.03. – Х., 2000. – 140 с.
3. Нарожный В.В., Кулик Т.В., Таран А.Н. Малогабаритный отказоустойчивый анализатор-измеритель качества внешней жидкой среды // *Авіаційно-космічна техніка і технологія / Зб. наук. праць.* – Харків: Вид-во МФ НаУКМА. – 2002. – Вип. 34. – С. 193 – 196.
4. Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем. – М.: СПб.: МГУ-ГРИФ, 1998. – 256 с.
5. Жирабок А.Н., Писарец А.М., Якшин А.С. Диагностирование датчиков технических систем // *Датчики и системы.* – 2007. – №6. – С. 12 – 17.
6. Теплотехника: Учебник для вузов / Под ред. А.П. Баскакова. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.

Рецензент: Н.Д. Кошевой, профессор, д.т.н., Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского «ХАИ».

Статья поступила в редакцию 15 ноября 2007 г.

