

Д.А. Ильичев, В.А. Богуш, А.Г. Ткачев

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМОКИНЕТИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ВОДООХЛАЖДАЕМЫХ КОРПУСАХ АППАРАТОВ

С целью экспериментальной проверки термокинетических процессов в корпусе аппарата, имеющего внутренние каналы охлаждения, была разработана экспериментальная установка, предназначенная для исследования процессов внутреннего и внешнего теплообмена в системе, включающей нагреваемый теплоносителем фрагмент (модуль) корпуса аппарата и омывающий его газовый поток.

Установка состояла из устройства размещения исследуемого фрагмента (модуля) корпуса аппарата, системы подготовки и распределения теплоносителя, тепловизионной системы и системы управления экспериментом (рис. 1).

Исследуемый модуль был выполнен в виде плоского фрагмента корпуса аппарата из нержавеющей стали. По периметру образца были выполнены каналы в виде приваренных полутрубок из того же материала. Ввод и вывод теплоносителя осуществляли через штуцеры, расположенные, соответственно, в нижней и верхней части образца. Выбор материала основывали на обеспечении максимальной наглядности результатов, что возможно при его большом термическом сопротивлении.

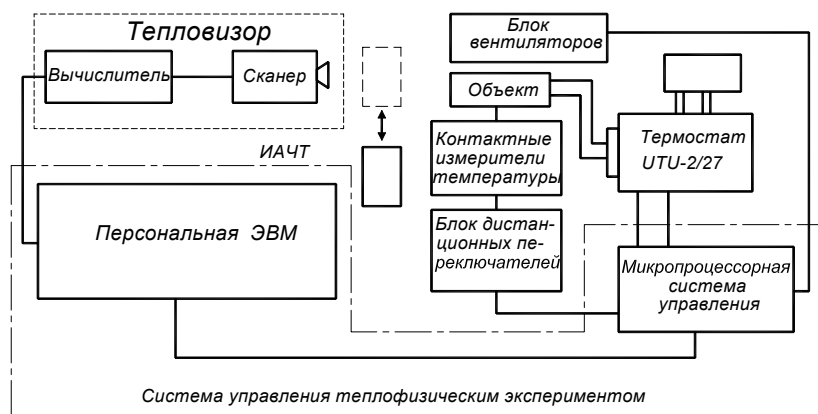


Рис. 1 Структурная схема экспериментальной установки

Устройство размещения исследуемого объекта представляло собой фронтально расположенную оптическую скамью, на которой закреплялся модуль – фрагмент исследуемого корпуса аппарата, была установлена схема разводки теплоносителя, контактные измерительные преобразователи температуры и вентиляторы.

Система подготовки теплоносителя была построена на базе универсального термостата UTU-2/27.

Конструкция нагнетательно-смешивающего узла, имеющего резервуар с хладоёмкостным и проточным спиральным холодильником, а так же двухступенчатую систему терморегулирования, позволяла обеспечить поддержание температуры во внутренней камере термостата.

Два кольца циркуляции: малое (внутреннее), используемое при выходе на режим постоянной температуры носителя и внешнее, обеспечивающее ток теплоносителя через исследуемый объект, дали возможность исследовать как статические, так и динамические характеристики исследуемого объекта.

Задачу измерения температурных полей выполняла тепловизионная система «Радуга» (рис. 2).

Принцип действия системы основан на регистрации теплового излучения объекта и восстановления по полученной информации его температурного поля.

Приемником инфракрасного излучения являются охлаждаемые жидким азотом фотодиоды. Усиленный сигнал приемника преобразуется аналогово-цифровым преобразователем, запоминается и передается в ЭВМ для дальнейшей обработки. В то же время, видеосигнал после схемы обратного преобразования управляет яркостью луча, создавая

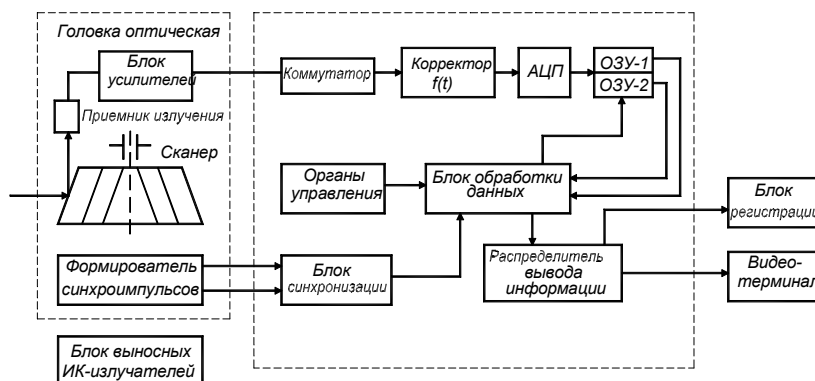


Рис. 2 Функциональная схема системы тепловидения

тепловой образ объекта на экране видеоконтрольного устройства. При этом более теплым зонам с большей интенсивностью излучения соответствуют более яркие области изображения.

Анализ решаемой задачи и особенностей используемого оборудования приводят к следующей структуре системы управления экспериментом: выбору иерархической двухуровневой системы управления с персональной ЭВМ на верхнем уровне и микропроцессорной системой управления (МПСУ) на базе модулей устройства сопряжения с объектом (УСО) на нижнем уровне.

Данная система обеспечивает реализацию следующих функций: непосредственное цифровое управление тепловизионной системой, программно-логическое управление исполнительными механизмами, клапанами управления потоков теплоносителя, контроль параметров задающих и управляющих сигналов в цифровом и квазианалоговом видах, регистрацию температур теплоносителя на входе и выходе, температуры поверхности образца в зоне тепловизионного контроля, измерение расхода теплоносителя, измерение температуры окружающей среды и скорости омывающего объект потока газа, организация связи с ЭВМ первого уровня.

Следует отметить, что при исследовании процесса теплопереноса в модуле корпуса аппарата, с точки зрения организации измерений, можно выделить два случая: нестационарные и стационарные тепловые режимы. В первом случае достаточно зарегистрировать значения всех входных параметров: [температуру, расход, теплофизические свойства (ТФС)] теплоносителя; температуру, скорость потока и ТФС обтекающего потока газа, выходную матрицу температурного поля панели и температуру теплоносителя на выходе объекта. Измерения в этом случае несложно реализовать в связи с весьма ограниченным объемом информации и отсутствием существенных ограничений на промежуток времени измерений.

Во втором случае возникает задача обработки огромных массивов информации для интерпретации результатов. Даже для выделенной области объекта размером  $100 \times 100$  элементов за время перехода к стационарному режиму, не более получаса, объем массива данных, из которых основной – термоизображения, составляет  $10^8$  байт.

Значения среднеинтегральной величины температуры, полученной с использованием метода медианной фильтрации, определили в соответствии со схемой (рис. 3). Таким образом, температурное поле исследуемого образца описывали значениями температуры в 55 точках.

Эксперименты проводились сериями при следующих условиях: изменении температуры теплоносителя в пределах от  $34 \dots 74$  °С, постоянным расходом воды и температуры окружающей среды, постоянной скорости обтекания газового потока и наблюдения осуществления конвекции (естественной и вынужденной).

По результатам проведенной работы можно сделать следующие выводы:

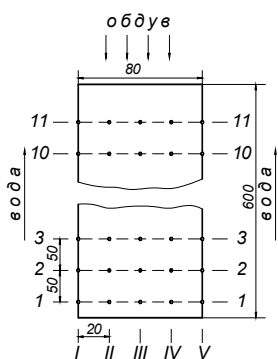
1 Спроектирована и изготовлена экспериментальная установка, позволяющая получить данные о состоянии температурного поля экспериментального модуля, в условиях имитации реальных параметров работы водоохлаждаемого корпуса аппарата.

2 Разработана оригинальная методика сбора и обработки экспериментальных данных, которая дала возможность получить наглядную и достоверную информацию о термокинетических процессах в корпусе исследуемого аппарата, как в статическом, так и в динамическом режимах работы.

3 Анализ результатов экспериментов, проведенных при различных исходных условиях, позволил установить, что:

- градиент температурного поля и интегральный перепад температур увеличивается в случае вынужденной конвекции омывающего панель газа;
- при увеличении температуры теплоносителя интегральный перепад температур повышается как в случае естественной, так и вынужденной конвекции;
- среднеинтегральное значение температуры модуля увеличивается, а разность температуры на входе и выходе уменьшается с увеличением расхода теплоносителя.

Эти заключения дают возможность скорректировать режимные параметры работы реального аппарата и осуществить его проектирование.



**Рис. 3** Схема измерения интегральной температуры исследуемого модуля (1...11 – уровни по высоте модуля, I...V – уровни по ширине модуля)