

УДК 536.3

С.В. Воробьев

*Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, Россия,
11116, Москва, Авиамоторная ул., 2, E-mail: velichkovsky@rtc.ciam.ru*

ИССЛЕДОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТИ СПУСКАЕМЫХ НАДУВНЫХ АППАРАТОВ С ПОМОЩЬЮ ТЕПЛОВИЗИОННОЙ ТЕХНИКИ

В процессе испытаний «надувных спускаемых аппаратов» — н.с.а тормозящихся в атмосфере Земли с имитацией в сверхзвуковой струе высокотемпературного газа на газодинамическом стенде, который обеспечивает воспроизведение расчетного полетного нагрева аппарата, для контроля теплового состояния наружной поверхности применялась модернизированная тепловизионная система АГА-782.

ТЕПЛОВИЗОР, СПУСКАЕМЫЙ АППАРАТ, ГАЗОДИНАМИЧЕСКИЙ СТЕНД

ВВЕДЕНИЕ

При испытании современной техники интенсивно развиваются бесконтактные методы диагностирования и измерения, которые в ряде случаев являются более информативными по сравнению с традиционными, контактными методами. В данной статье представлена методика контроля состояния поверхности в случае, когда нет возможности провести достаточную для анализа препарировку объекта испытания. Применялась тепловизионная система, предназначенная для получения, обработки и представления качественной и количественной информации о пространственном распределении инфракрасного излучения исследуемого объекта, и которая имеет ряд преимуществ перед видеосъемкой с регистрацией в видимом спектральном диапазоне.

МЕТОДИКА ИСПЫТАНИЯ

Газодинамический стенд предназначен для проведения тепловых и теплопрочностных испытаний летательных аппаратов, летящих или тормозящихся в атмосфере Земли или других планет, и воспроизведении расчетного полетного нагрева аппарата за счет конвективного теплового потока газовой струи к поверхности. При этом силовые нагрузки на аппарат от газового потока могут несколько отличаться от полетных. Для проведения испытания на стенд по трубопроводу 1 (рис. 1) с заданным расходом подается воздух и через топливные форсунки 2 распыляется керосин, который сгорает в камере 3. Из сопла 4 газовый поток истекает в термобарокамеру 5 и обдувает н.с.а 6, установленного на державке 7. Изменение температуры и расхода газового потока определяются траекторией и характеристиками н.с.а по параметрам торможения газового потока энтальпии и давлению.

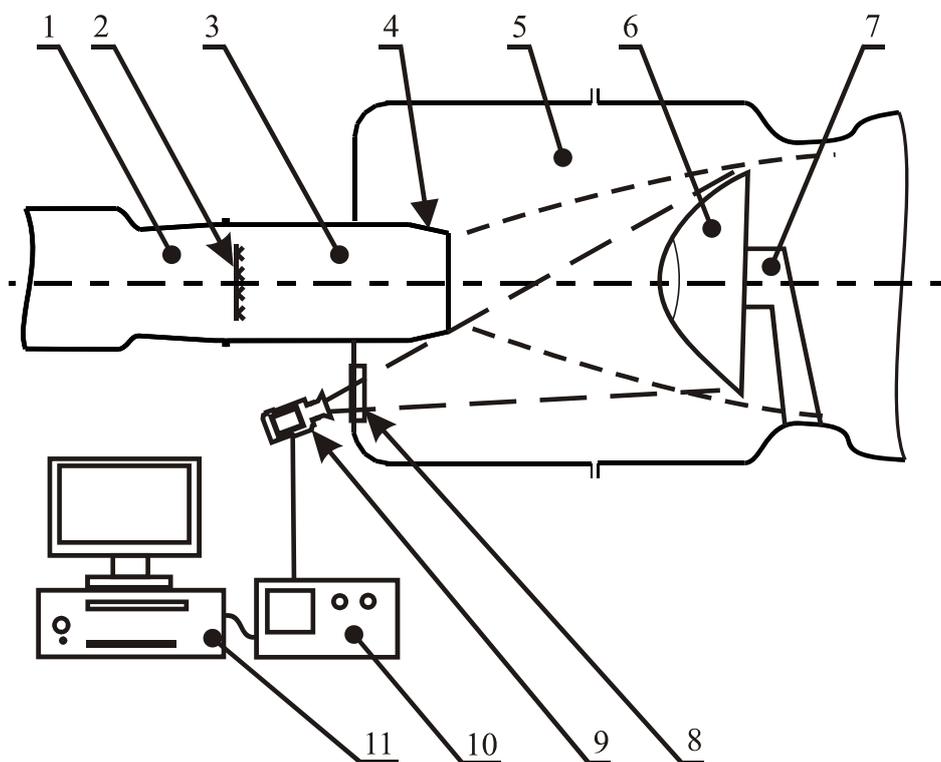


Рис. 1. Схема установки н.с.а и тепловизионной системы на газодинамическом стенде.

При определении режима испытания с учетом линейного уноса «теплозащитного покрытия» — т.з.п. стендовая величина теплового потока (т.е. температура газового потока) выбиралась из обеспечения расчетных полетных условий.

Объект исследования

В конструкции н.с.а использовано надувное тормозное устройство для увеличения миделя на участке торможения в разреженной атмосфере (атмосфера Марса, верхние слои атмосферы Земли). Для защиты конструкции н.с.а от нагрева использована гибкая многослойная тепловая защита с покрытием, за счет сублимации которого осуществляется основной отвод тепла с поверхности. Целью исследования - испытание новых типов тепловой защиты и покрытий.

Контроль состояния поверхности и измерение в ИК-диапазоне

На поверхности н.с.а недопустима установка каких либо датчиков или других объектов, которые нарушают целостность или однородность покрытия, что может привести к разрушению конструкции под воздействием тепловых и аэродинамических нагрузок. Поэтому термопары размещались внутри объекта испытания, а для контроля состояния поверхности применялись бесконтактные методы: видеосъемка и термометрирование. Наблюдение проводилось через иллюминатор 8 с системой обдува воздухом для исключения воздействия высокотемпературной газовой струи и защитным стеклом из селенида цинка, который обеспечивает высокую пропускную способность во всем диапазоне длин волн работы тепловизионной системы. Снаружи термобарокамеры располагался тепловизор 9, сигнал с которого поступал на блок управления 10, записывался и обрабатывался на компьютере с платой АЦП 11. Расчет температуры по излучению проводился по данным калибровки с использованием модели «абсолютно-черного тела» [1]. Контроль теплового состояния поверхности н.с.а производился сквозь поток продуктов сгорания стендового огневого воздухоподогревателя с применением спектрального фильтра в диапазоне длин волн от 3,7 до 3,9 мкм, где влияние трехатомных газов H_2O и CO_2 минимально, а излучает

сажа и твердые частицы. Так же в ряде испытаний для сравнения применялся тепловизор, работающий в видимом диапазоне длин волн и ближнем ИК-диапазоне, созданный на основе матрицы фирмы SONY, который показал перспективность применения при измерении высоких температур.

Анализ данных

На рис. 2 показана хронология изменения температуры заторможенного газового потока 1, температуры полученной расчетом по тепловизионным данным 2, и показания термопар 3, размещенных внутри н.с.а. При достижении максимальной тепловой нагрузки, по показаниям тепловизора температура поверхности уменьшается. Это происходит из-за сублимации уносимого слоя т.з.п, частицы которого в газообразном состоянии поглощают излучение тем сильнее, чем больше оптическая толщина слоя, и вносит погрешности в определении температуры по тепловизионным данным, в связи с чем она изменяется во времени скачкообразно. Несмотря на это, тепловизионная система имеет преимущество и является более информативной по сравнению с термопарами 3, по показаниям которых можно только определить тепловое состояние внутри объекта. Температура поверхности н.с.а не должна превышать расчетной за счет сублимации покрытия, величина которого зависит от его типа и условий полета. Максимальные нагрузки приходятся на носовую часть с.н.а, где уноса покрытия происходит наиболее интенсивно. В местах начала разрушения, где толщина покрытия недостаточная и теплоотвод за счет сублимации уменьшается, температура поверхности возрастает, и интенсивность излучения максимальная из-за минимальной концентрации в потоке сублимированного вещества в потоке.

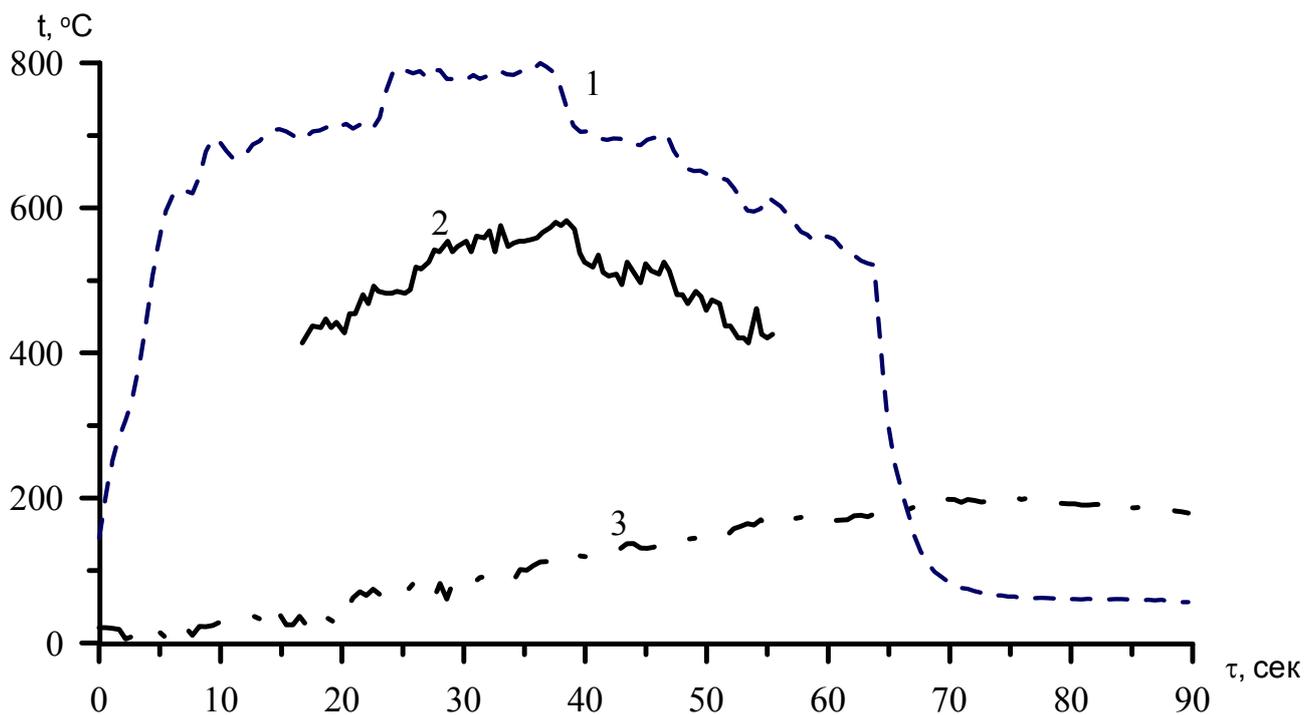


Рис. 2. Изменение температуры во время испытания н.с.а [С]: 1 – газового потока; 2 – поверхности по тепловизионным данным; 3 – под слоем тепловой защиты.

По термоизображениям (рис. 3) оценивались зоны перегрева, а так же места, где происходит дополнительный теплоотвод внутрь н.с.а, что может привести к нежелательному нагреву объекта груза. После испытания проводился визуальный осмотр и замеры для контроля состояния н.с.а. По результатам осмотра и сравнением с термоизображениями составлялся перечень дефектов с целью предотвращения разрушения в дальнейших испытаниях.

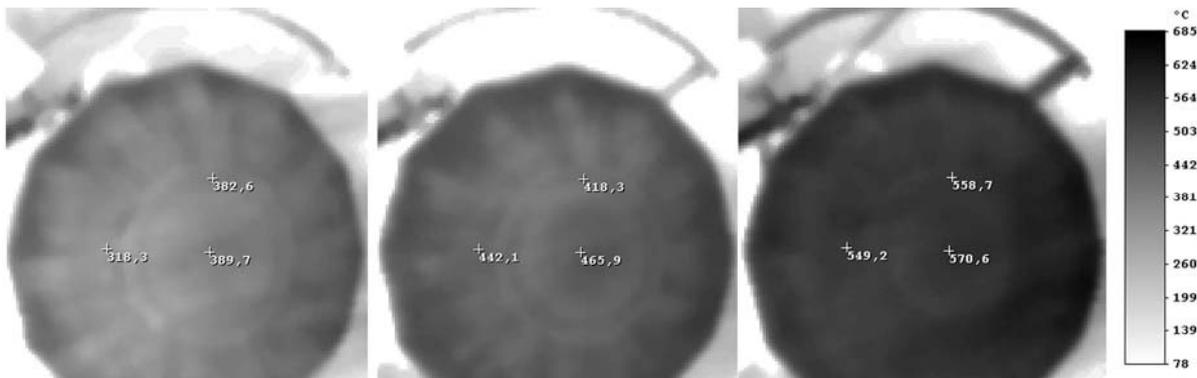


Рис. 3. Серия термоизображений с температурным распределением по поверхности н.с.а

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам испытаний с применением тепловизионной техники данным удалось получить качественную картину теплового распределения поверхности н.с.а, определить дефектные места до начала разрушения поверхности, а также дать рекомендации по оптимизации распределения уносимого покрытия с целью повышения надежности и эффективности работы тепловой защиты, а также для снижения веса. По изменению в процессе эксперимента температуры поверхности, полученной с помощью тепловизора, более точно, по сравнению с данными от термопар, определена эффективность работы т.з.п. Применение тепловизионной системы позволило более подробно изучить механизм работы различных типов н.с.а и т.з.п.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Воробьев С.В.** Применение тепловизора при испытании огневого воздухоподогревателя. М.: Издательский дом МЭИ, 2009. 338 с.

S.V. Vorobyev1

*Centre Institute of Aviation Motors (CIAM), Russia,
111250, Moscow, Aviamotornaya st., 2, E-mail: velishcovsky@rtc.ciam..ru*

INVESTIGATION AND DIAGNOSIS OF SURFACE HEAT DOWN AIR VEHICLE WITH THERMOVISSION TECHNIQUES

During the test, an inflatable re-entry vehicles inhibiting the Earth's atmosphere with an imitation of a supersonic jet of gas at high temperature gasdynamic stand, which allows playback of current flight-heating apparatus, for controlling the thermal state of the outer surface of an upgraded thermovission system used AGA-782 .

THERMOVISSION, RE-ENTRY VEHICLES, GASDYNAMIC STAND