

УДК 536.5:629.78

Проблемы термостатирования и обеспечения сохранности космического аппарата в период предстартовой подготовки и при выведении на орбиту

В. И. Тимошенко¹, А. В. Агарков², Ю. И. Мошненко²,
В. Н. Сиренко², Ю. В. Кнышенко¹, Ю. Г. Ляшенко¹

¹Институт технической механики НАН Украины та НКА України, Дніпропетровськ

²Державне конструкторське бюро «Південне», Дніпропетровськ

Надійшла до редакції 22.03.00

Розглядаються проблеми термостатування та забезпечення збереження космічного апарата в період передстартової підготовки і під час польоту ракети-носія на активній ділянці траєкторії при виведенні на орбіту. Проведено аналіз стану і напрямків розвитку систем термостатування (СТС) відсіків КА у відповідності до сучасних вимог. Запропоновано модульний принцип створення СТС. Приведено характеристику експериментального та розрахункового забезпечення проектування, створення та відпрацювання сучасних СТС.

ТРЕБОВАНИЯ К СОВРЕМЕННЫМ СИСТЕМАМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

В настоящее время для космической отрасли Украины актуальным является обеспечение конкурентоспособности космических ракетных комплексов (КРК) с использованием ракет-носителей (РН) «Зенит», «Циклон» и «Днепр» на мировом рынке космических услуг. Данные РН рассматриваются сейчас как потенциальные носители для создания и выполнения спутниковых систем по национальным программам Украины, Российской Федерации и некоторых зарубежных фирм [2].

Одной из важнейших задач является обеспечение сохранности и работоспособности космического аппарата (КА) на всех этапах его выведения в космос: при транспортировке из монтажно-испытательного комплекса до стартовой площадки, при подготовке к старту и во время полета РН на активном

участке траектории. Составной частью этой проблемы является создание комфортных температурных условий для КА. Во всех случаях сохранность КА обеспечивается ограждением от воздействия на него тепловых и газодинамических нагрузок с помощью головного обтекателя (ГО) отсека КА. Кроме того в наземных условиях температурный режим в отсеке КА поддерживается с помощью системы термостатирования (СТС), осуществляющей принудительную вентиляцию в отсеке.

Опыт коммерческого использования РН «Зенит» и «Циклон» показал, что в связи с требованием создания более комфортных условий для современных КА возникали задачи по доработкам и модернизации штатных СТС. Все более активное использование РН «Зенит» в рамках коммерческих проектов, модернизация РН «Циклон» в части увеличения размеров отсека КА, создание КРК «Днепр» на основе боевого ракетного комплекса, не имеющего

автономной СТС головного отсека, обуславливают актуальность нового подхода к проблемам модернизации и разработки систем термостатирования.

Анализ конструктивных особенностей существующих отсеков КА показывает, что эти системы разрабатывались для работы с герметичными аппаратами, когда в отсеке осуществляется только контроль температурно-влажностного режима. Термостатирующий воздух в отсеки КА подается через щелевые газоды, формирующие интенсивные пристенные струи, скорость которых на выходе из щелевых коллекторов достигает 12—16 м/с. Основная масса воздуха движется в пристенных струях мимо КА, затем разворачивается в месте соударения струй и движется вдоль корпуса ГО к выходным отверстиям на его конической части. Вблизи поверхностей КА создаются значительные застойные области, в которых практически отсутствует скорость движения воздуха. В этих условиях коэффициенты конвективной теплоотдачи с поверхности КА имеют значения на уровне естественной конвекции ($3\text{--}5 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2} \cdot \text{К}^{-1}$), и задача стабилизации температуры КА осуществляется за счет увеличения подачи термостатирующего воздуха в отсек и теплосема пристенными струями. В то же время поверхности узлов КА, находящиеся в зоне пристенных струй, могут подвергаться значительному газодинамическому воздействию термостатирующего воздуха ($V > 3\text{--}4 \text{ м/с}$).

Работоспособность современных негерметичных КА, изготавливаемых из материалов с невысокими механическими характеристиками, в значительной степени будет зависеть от интенсивности воздействия на него окружающей среды в отсеке. Поэтому в отсеке должны обеспечиваться комфортные условия для КА: низкий уровень теплового и газодинамического воздействия на КА за счет снижения в 1.5—2 раза теплотоксов на КА по сравнению с существующими нормами при одновременном ограничении скорости термостатирующего воздуха вблизи поверхности КА до 1.5—2 м/с; должны выполняться повышенные требования к чистоте пространства отсека (например, на уровне федерального стандарта США Fed Std 209E).

При полете РН на активном участке траектории (АУТ) через выходные люки СТС осуществляется сброс избыточного давления воздуха из отсека КА в окружающее пространство (дренирование). При изменении угла атаки или изменении скоростного режима при числах Маха $M \approx 1$ возможно резкое изменение избыточного давления на поверхности отсека КА. При отсутствии обратных клапанов на выходных люках СТС возможно втекание воздуха из окружающей среды в отсек КА. Перед отделени-

ем КА от РН к моменту сбрасывания головного обтекателя за счет дренирования воздуха должно быть обеспечено выравнивание давления в отсеке с давлением в окружающем пространстве. В противном случае чрезмерная разность давлений приведет к воздействию существенных газодинамических нагрузок на КА в момент сбрасывания обтекателя.

На основе анализа конструктивных особенностей вновь разрабатываемых систем термостатирования и дренирования отсеков КА должны быть сформулированы новые требования к характеристикам данных систем.

Ранее требования к СТС определяли технические условия на параметры термостатирующего воздуха — пределы изменения температуры и влажности воздуха, объемный расход воздуха, избыточные давления в отсеке КА в режиме наземного термостатирования и в момент сброса ГО. Новые, современные требования к СТС состоят в дополнительном нормировании следующих характеристик работы СТС: уровень средних коэффициентов теплообмена при обдуве КА общей системой термостатирования; уровень средних скоростей движения термостатирующего воздуха вблизи поверхностей КА; чистота пространства отсека КА на уровне международных стандартов; уровень средних коэффициентов теплообмена и скорости воздуха для устройств локального обдува теплонапряженных узлов КА.

Дополнительные требования к СТС могут быть удовлетворены следующими конструктивными усовершенствованиями существующих СТС: установкой дополнительных подводящих патрубков, что позволит при необходимости увеличить кратность воздухообмена в отсеке КА; установкой обратных клапанов на выходных люках СТС и мембранных фильтров на перегородках между отсеком КА и приборным отсеком (ПО); установкой автономных устройств локального обдува теплонапряженных элементов КА; установкой решеток, перфорированных экранов, панелей, обеспечивающих более равномерный обдув КА.

МОДУЛЬНЫЙ ПРИНЦИП СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

Современные требования к параметрам работы СТС требуют нового подхода к созданию или модернизации СТС. В первую очередь необходимо учитывать, что отсек полезной нагрузки РН, отсек КА, должен позволять размещать в нем различные типы КА. При этом изменение полезной нагрузки может быть обеспечено минимальными доработка-

ми отсека КА, в том числе и системы термостатирования. Таким образом, необходимо создание СТС универсального типа, позволяющего производить перенастройку отсека полезной нагрузки с целью выполнения комфортных условий с учетом разнообразия КА.

Оптимальным является модульный принцип конструктивного построения системы термостатирования, заключающийся в создании системы из отдельных модулей. Это упрощает общий монтаж различных вариантов системы и облегчает настройку и эксплуатацию. Каждый модуль СТС должен представлять собой унифицированный взаимозаменяемый узел, выполняющий самостоятельную функцию при различных вариантах компоновки СТС.

Системы термостатирования могут быть разбиты на следующие модули:

- модули раздачи воздуха (газоводы, коллектора, трубопроводы);
- модули бокового обдува КА (перфорированные экраны, сопловые блоки, экранирующие пластины);
- модули торцевого обдува КА (душирующие экраны, сопла, отражающие устройства);
- модули локального обдува узлов КА (сопловые блоки).

Все модули должны иметь унифицированные стыковочные узлы с быстроразъемными соединениями.

Базовые конструктивные элементы (входные и раздающие патрубки, перфорированные экраны, выходные устройства и др., для данного типа РН остаются неизменными при использовании различных КА. Дополнительные сменные элементы (душирующие патрубки, сопловые устройства, направляющие экраны и др.) учитывают особенности конкретных КА.

Разработку модульной конструкции СТС оптимальной массы необходимо выполнять с учетом условия ее одноразового применения. Это позволит использовать для изготовления сменных конструктивных элементов СТС легкие неметаллические материалы, пластмассы.

Средние коэффициенты конвективной теплоотдачи поверхности КА можно также увеличить за счет повышения равномерности обтекания конструкции КА, уровня турбулентности потока, увеличения его скорости. Для отсеков КА кратность воздухообмена при термостатировании со средней степенью заполнения объема отсеков изменяется от 35 до 140. Одним из основных условий модернизации существующих СТС является обеспечение кратности воздухообмена на уровне 120—140.

МЕТОДОЛОГИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО И РАСЧЕТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ОТРАБОТКИ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

Задача выбора основных конструктивных параметров на всех этапах проектирования, модернизации и опытной отработки СТС представляет собой комплекс расчетно-экспериментальных исследований. В настоящее время основным методом отработки СТС в наземных условиях является проведение испытаний всего комплекса воздухооборудования РН на натурном опытном образце, включая и отдельные автономные элементы системы термостатирования. Достоверность получаемой при этом информации о режимах работы СТС в наземных условиях достаточно высока. Однако подготовка и проведение таких испытаний требуют значительных временных и материальных затрат, даже при условии использования для этих целей всей материальной части или отдельных ее узлов после проведения других, например, неразрушающих прочностных испытаний. Кроме того, эти испытания СТС могут проводиться только на поздней стадии проектирования, когда уже разработаны и изготовлены отдельные элементы РН.

Сокращение сроков и стоимости отработки СТС и ее отдельных элементов в наземных условиях может быть достигнуто проведением аналогичных испытаний на модельных (макетных) установках, выполненных с соблюдением критериев подобия. Результаты таких испытаний, при наличии соответствующей экспериментальной базы, могут быть получены на ранних стадиях проектирования (модернизации) СТС и учтены на дальнейших этапах разработки.

Общая методология расчетно-экспериментальных исследований для обеспечения выбора основных конструктивных параметров на всех этапах проектирования, создания и опытной отработки СТС РН и КА в наземных предстартовых условиях предусматривает проведение следующих работ:

- анализ конструктивных особенностей термостатируемых отсеков как проточных каналов со сложным продольным и поперечным профилем и диапазонов изменения гидравлических и термодинамических параметров термостатирующего воздуха внутри отсеков (скоростей, сопротивлений, избыточных давлений, температур);
- формулировка упрощенных математических моделей с использованием их для предварительной оценки основных параметров процесса термостатирования, для подготовки рекомендаций по выбору параметров узлов экспериментальной установки,

для формулировки предложений по методике проведения эксперимента в части определения подлежащих измерению параметров, для выбора мест размещения датчиков, для определения предполагаемых диапазонов изменения измеряемых параметров и выбора аппаратуры;

— проектирование, создание или модернизация существующей экспериментальной установки, наладка установки;

— отработка методики эксперимента, проведение предварительных экспериментальных исследований;

— проверка основных расчетных результатов экспериментальным путем в лабораторных условиях на макетных образцах отдельных блоков или полномасштабных отсеков, которая позволит: выбрать значения недостающих параметров, уточнить отдельные эмпирические коэффициенты по блокам и их взаимному влиянию друг на друга, определить скорости течения в различных сечениях проточной части, в том числе вблизи наиболее ответственных приборов;

— проведение параметрических расчетов по уточненным математическим моделям и экспериментальных исследований для некоторых характерных значений определяющих параметров;

— экспериментально-расчетное определение гидравлических характеристик проточных трактов и параметров теплообмена термостатируемых отсеков и отдельных элементов и приборов;

— сопоставление полученных результатов с данными опытной отработки образцов СТС РН и КА ближайших прототипов;

— формулировка рекомендаций по выбору и средствам обеспечения проектных параметров модернизуемых и вновь разрабатываемых СТС и их составных частей в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми современными КА;

— проведение испытаний натуральных узлов СТС, предназначенных для установки на штатные изделия, в лабораторных условиях с целью выявления влияния технологических особенностей изготовления на рабочие параметры узлов;

— отработка в лабораторных условиях методики и средств измерения для проведения в особо ответственных случаях натуральных испытаний всей системы в целом.

Специфика отработки СТС для наземных предстартовых условий состоит в том, что основным методом исследований является эксперимент, а методы математического моделирования, ввиду сложности гидродинамических и тепловых процессов в СТС, могут быть использованы для проведения предварительных расчетных оценок, выбора и обос-

нования критериев подобия, анализа и интерпретации данных экспериментальных исследований.

Для получения информации об изменении гидродинамических и теплофизических параметров в отсеках КА при полете РН на АУТ необходимы постановка и решение следующих задач:

— исследование поведения проточных трактов СТС при полете на АУТ (дренирование), что имеет важное значение для обеспечения сохранности и последующей работоспособности выводимых КА;

— определение внешних траекторных параметров на АУТ (скорость полета, угол атаки, давление, плотность и температура окружающей среды) с использованием параметров задаваемой траектории или траекторных измерений при запуске аналогичных систем;

— экспериментальное определение гидравлических характеристик входных и выходных устройств СТС (используются методики экспериментов при наземной отработке СТС с моделированием траекторных параметров);

— определение распределений газодинамических параметров по поверхности РН в окрестности выходных отверстий СТС с использованием современных методов численного моделирования пространственного обтекания летательных аппаратов на до- и сверхзвуковых режимах движения;

— совместное решение задач внутренних течений в проточных трактах СТС и внешнего обтекания РН;

— формулировка рекомендаций по выбору конструктивных параметров СТС, обеспечивающих поддержание в отсеках гидравлических и теплофизических параметров в заданных диапазонах на всем участке полета.

Особенность исследований вопросов дренирования отсеков РН при полете на АУТ состоит в том, что в основном при этом используется математическое моделирование. Для решения этих задач по инициативе и в обеспечение разработок ГKB «Южное» в ИТМ НАНУ и НККАУ была создана соответствующая расчетно-экспериментальная база.

При реализации указанного выше комплекса экспериментальных задач, связанных с разработкой и модернизацией в ГKB «Южное» СТС РН «Зенит», в ИТМ НАНУ и НККАУ разработан и создан стенд, позволяющий проводить исследование на полномасштабных макетах с расходами воздуха, соответствующими натурным условиям. Этот стенд позволяет определять газодинамические параметры общей системы термостатирования. В состав стенда входят также экспериментальные установки, предназначенные для отработки отдельных натуральных элементов и узлов СТС (установка для определения или подтверждения проектных параметров си-

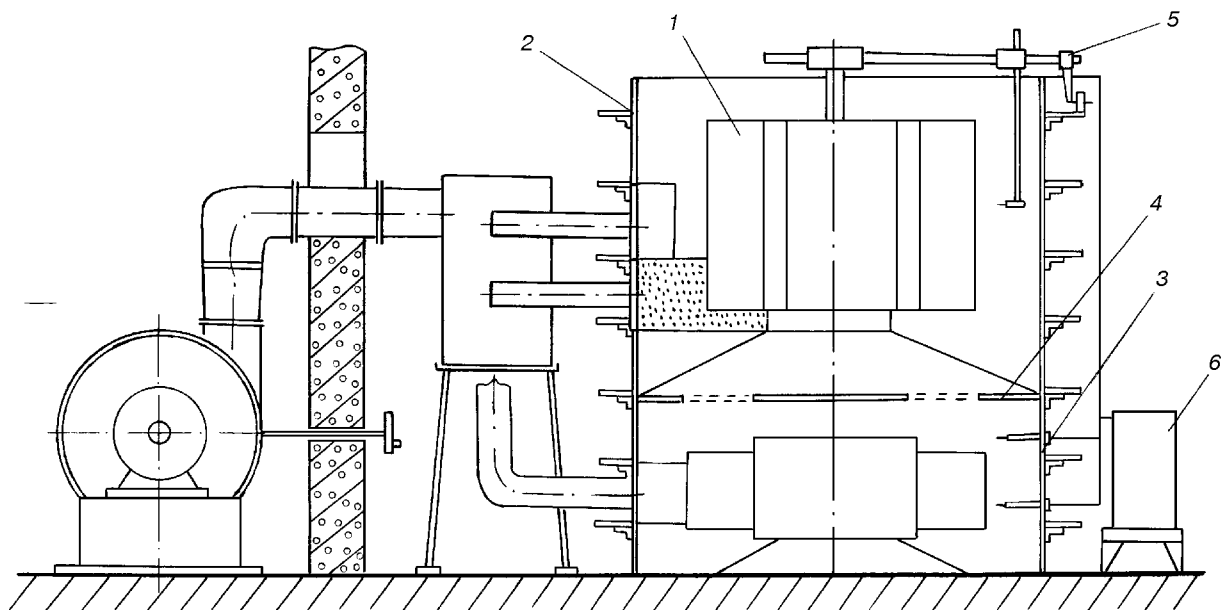


Рис. 1. Схема стенда с полноразмерными макетами КА и секций обтекателя: 1 — полноразмерный макет КА, 2 — полноразмерный макет секции обтекателя, 3 — полноразмерный макет приборного отсека, 4 — экран с мембранными фильтрами, 5 — координатник, 6 — термоанемометрическая система

стемы локального обдува отдельных элементов КА; установка для определения тепловых режимов теплонапряженных элементов РН и КА; установка для исследования гидравлических характеристик узлов и элементов системы термостатирования отсеков РН и др.).

Для решения задач, связанных с обеспечением сохранности и работоспособности КА на этапе выведения (на АУТ) в ИТМ НАНУ и НККАУ разработаны расчетные методики и соответствующее программное обеспечение, позволяющее в сочетании с использованием экспериментальных данных оперативно и в полном объеме решать все задачи, связанные с отработкой СТС при полете на АУТ. Ниже приводится описание этого научно-методического обеспечения проектной проработки СТС.

СТЕНД ДЛЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОТРАБОТКИ ГАЗОДИНАМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СИСТЕМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

Схема стенда с полноразмерными макетами секции обтекателя РН, КА и приборного отсека РН показана на рис. 1. Подача воздуха осуществляется от вентиляционной установки с расходом воздуха до 20 тыс. $\text{м}^3/\text{ч}$. Режим подачи термостатирующего воздуха может изменяться в широком диапазоне.

Подача воздуха в секцию обтекателя и в приборный отсек РН может осуществляться одновременно в оба отсека или отдельно в один из отсеков за счет перекрытия подачи воздуха заслонками. Комплектация стенда макетами космических аппаратов и приборов может быть разнообразной, в зависимости от типа исследуемого объекта.

Замер скоростей воздуха на стенде в окрестности КА под обтекателем или в окрестности приборов в приборном отсеке может производиться либо последовательно с помощью одного термоанемометрического датчика, расположенного на координатном устройстве, либо одновременно в нескольких точках с помощью многоканальной автоматизированной системы термоанемометрических измерений (АСТИ) [4].

Система АСТИ позволяет снимать информацию о скорости потока воздуха (от 0.5 до 100 м/с) и степени его турбулентности. Общее количество подключаемых датчиков — 80. Предусмотрена последовательная коммутация датчиков в автоматическом режиме с частотой опроса 0.1 Гц, а также ручное выборочное подключение любого датчика с цифровой индикацией номера измеряемой точки и величины скорости в этой точке. Погрешность измерений локальных скоростей потока не превышает 5%. Сбор и обработка информации осуществляется микроЭВМ.

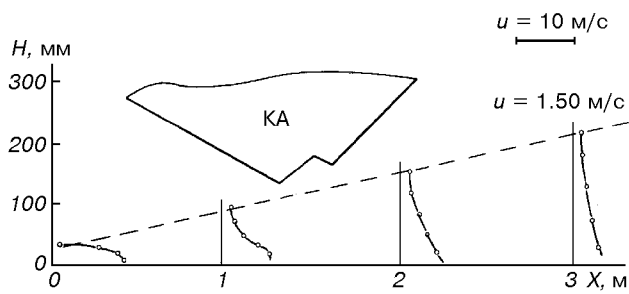


Рис. 2. Профили скоростей в пристенной струе на выходе из щелевого коллектора вдоль внутренней поверхности головного обтекателя

На рис. 2 представлены экспериментально определенные профили скоростей в пристенной струе на выходе из щелевого коллектора в области минимального зазора между КА и внутренней обшивкой обтекателя. Данные результаты получены на полномасштабном макете обтекателя КА РН «Зенит» после доработки щелевого коллектора с целью снижения начальных скоростей пристенных струй и обеспечения за счет этого допустимых скоростей вблизи поверхностей КА.

Наряду с отработкой общей системы термостатирования отсеков РН на данном стенде могут проводиться исследования газодинамических параметров и тепловых режимов при локальном обдуве командных приборов и ответственных узлов РН и КА (гироскопов, бортовых источников питания, пане-

лей солнечных батарей и др.). Стенд позволяет проводить исследования параметров локального обдува от индивидуальных источников воздухообеспечения (например, вентиляторов с сопловыми блоками, имеющими встроенные электронагреватели), которые в предстартовых условиях обеспечивают особо точное, с минимальным разбросом поддержание температурного режима отдельных элементов КА.

На рис. 3 показан фрагмент стенда с натурной системой локального обдува для исследования газодинамических параметров и тепловых режимов одной из панелей радиатора бортовой батареи КА. Для обдува панели используется вентилятор с сопловым блоком, конструкция которого в результате экспериментов выбрана таким образом, что обеспечивается близкое к равномерному распределение скоростей воздуха по поверхности исследуемой панели. Тепловыделения панели моделируются с помощью металлической пластины, имеющей тепловую связь с заполненной водой электронагреваемой ванной, тепловая мощность которой соответствует натурным условиям. Температурное поле на панели фиксируется хромель-копелевыми термопарами.

На рис. 4 показаны распределения скоростей и температур по оси симметрии панели радиатора бортовой батареи КА при локальном обдуве в предстартовый период, полученные при отработке устройства локального обдува на описанном выше стенде. Скорости обдува измерены термоанемометром на расстоянии 20 мм от поверхности панели, локальные температуры панели определялись тер-

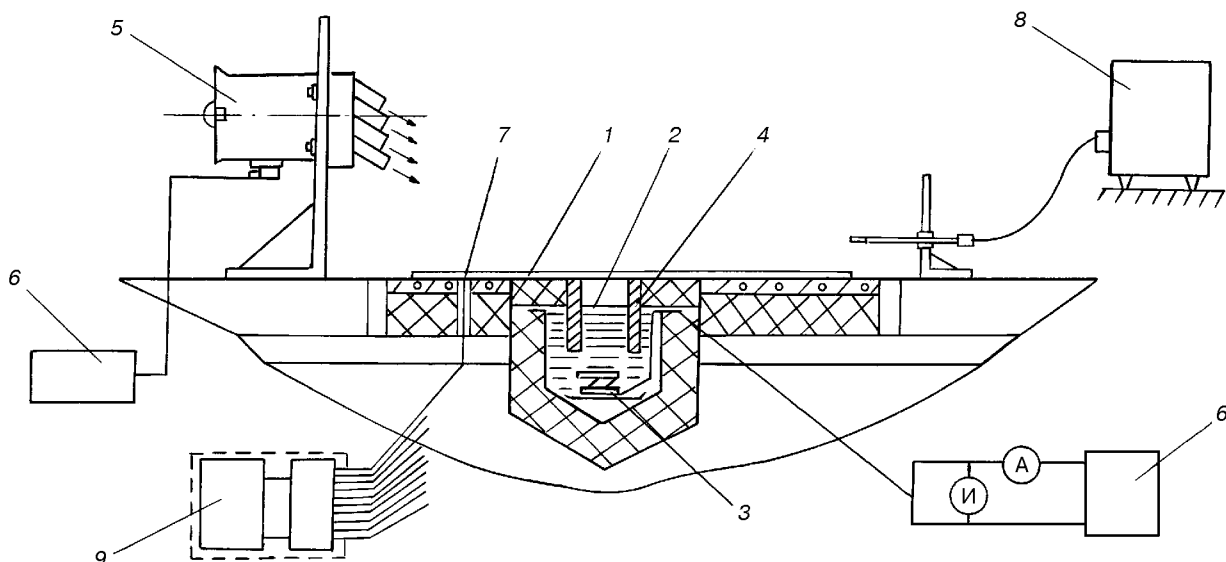


Рис. 3. Схема экспериментальной установки для исследования тепловых режимов радиатора бортовых батарей КА: 1 — макет радиатора, 2 — ванна, 3 — электронагреватель, 4 — пластины тепловой связи, 5 — устройство обдува, 6 — источник питания, 7 — термопара, 8 — термоанемометр, 9 — измерительная система

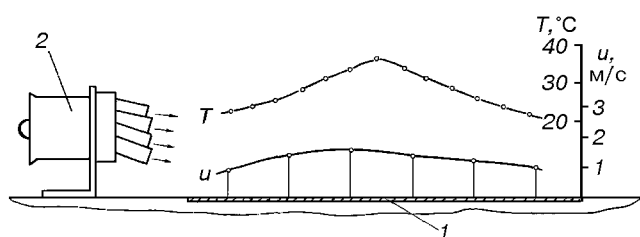


Рис. 4. Распределение скоростей воздуха вблизи панели и температуры панели по оси симметрии макета радиатора (номинальный режим обдува панели): 1 — макет радиатора, 2 — устройство обдува

мопарами. При ограничении скорости обдува ($V \leq 1.5$ м/с) достигался заданный уровень значений средних коэффициентов конвективного теплоотвода с поверхности панелей ($10\text{--}15$ Вт·м⁻²К⁻¹).

РАСЧЕТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЕКТНЫХ РАЗРАБОТОК СИСТЕМ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ

Разработка расчетных методов СТС проводится в двух направлениях. Одно из них связано с расчетными оценками рабочих режимов СТС в наземных условиях, которые характеризуются принудительной подачей воздуха в термостатируемые отсеки. Второе — с расчетным определением параметров воздуха в отсеках при полете РН на АУТ.

В условиях наземного термостатирования общий подход к выбору параметров СТС состоит в определении расхода, температуры и давления, подаваемого в отсек воздуха, которые обеспечивают теплоотвод или подогрев приборов КА в зависимости от направления теплообмена между стенкой отсека и внешней атмосферой.

Для уменьшения влияния условий окружающей среды на температурный режим внутри термостатируемого отсека стенки его выполняются с использованием материалов, обеспечивающих большое тепловое сопротивление. Так, например, конструкция оболочки отсека КА РН «Зенит» конструктивно выполнена из двух слоев с воздушной прослойкой между ними: наружного (несущего) — из сплава АМГ-6 и внутреннего — из стеклопластика. Поверхность слоя из стеклопластика, обращенная к наружной стенке, покрыта алюминиевой фольгой, обеспечивающей отражение лучистой тепловой энергии от внешней стенки.

Для расчета параметров воздуха, прокачиваемого через термостатируемый отсек КА, используются уравнения изменения массы и энергии в замкнутом

объеме, ограниченном внутренней поверхностью стенки отсека и внешней поверхностью приборов. При записи уравнений полагается, что плотность, давление, температура воздуха в нем равны своим среднеобъемным значениям, и в общем случае зависят от времени. Полученная система уравнений замыкается уравнением состояния [5, 8].

Конкретный вид зависимостей, характеризующих подводимую (отводимую) тепловую мощность через стенки отсека учитывает следующие основные факторы:

- конвективный теплоподвод (отвод) к внешней стенке отсека в условиях свободной конвекции (в безветренную погоду) или в условиях вынужденной конвекции (при наличии ветра);
- конвективный теплоотвод (подвод) от внутренней стенки в условиях вынужденной конвекции (за счет прокачки термостатирующего воздуха через отсек);
- теплоподвод в отсек за счет солнечной радиации;
- тепловыделения внутри отсека от работы приборов и аппаратов.

На этапе расчетных оценок гидравлических параметров СТС в наземных условиях функционирования составляется расчетная схема в виде набора простых гидравлических элементов с известными характеристиками, разрабатывается математическая модель течения потоков воздуха по каналам системы СТС внутри исследуемых отсеков и в выходных устройствах. Аналогичный подход применяется при определении распределения расходов термостатирующего воздуха внутри различных отсеков по устройствам локальной вентиляции, средних и местных скоростей вблизи обдуваемых приборов и агрегатов.

Вторым направлением расчетных оценок СТС является исследование параметров воздушной среды (давления, температуры) в термостатируемых отсеках в полетных условиях на активном участке траектории (дренирование), начиная с момента отсоединения СТС от наземных источников. Для этого необходима формулировка математических моделей перечисленных выше задач: определение внешних траекторных параметров на АУТ в целях определения газодинамических параметров на поверхности РН в окрестности выходных отверстий СТС; исследование поведения проточных трактов СТС; совместное решение задач внутренних течений в проточных трактах СТС и внешнего обтекания РН. При этом должны быть использованы результаты экспериментального определения гидравлических характеристик входных и выходных устройств СТС.

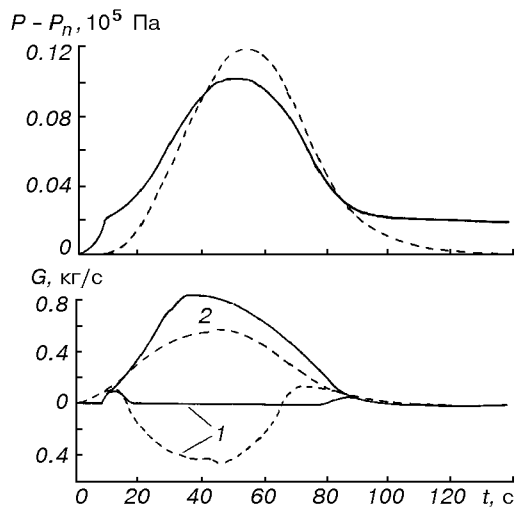


Рис. 5. Изменение параметров воздуха в отсеке КА при полете РН на АУТ: 1 — расход воздуха из выходного устройства на наветренной стороне, 2 — на подветренной стороне. Сплошные кривые — выходные отверстия с обратными клапанами, штриховые — без клапанов

Изменение внешнего давления на выходных устройствах СТС может быть определено различными методами: расчетным путем, по результатам модельных продувок ГО с выходными устройствами в аэродинамических трубах или с использованием летных данных. Однако расчетно-теоретические методы дают возможность получить более полную информацию при меньших временных и материальных затратах, поскольку возможности экспериментальной базы ограничены сложностью моделирования изменения таких определяющих параметров, как скорость движения, высота, состав газовой среды. Общая характеристика проблемы расчетного определения газодинамических параметров на поверхности РН и описание созданного в ИТМ НАНУ и НКАУ программно-методического обеспечения расчета аэрогазодинамических параметров РН при сверхзвуковом полете даны в работах [1, 6, 7, 9]. В частности, достаточно эзоаэтивна методика оперативного расчета [6]. Для определения параметров обтекания ГО на дозвуковом участке полета могут быть использованы имеющиеся в ГКБ «Южное» методики.

Определение изменения параметров воздуха в отсеке КА при полете РН на АУТ может быть проведено по методике, представленной в [3]. В качестве примера использования этой методики на рис. 5 приведены расчетные данные по изменению давления в отсеке КА и расхода воздуха из отсека

при полете РН на АУТ для случая неравномерного распределения внешнего давления по поверхности обтекателя. Сплошные кривые соответствуют варианту с установкой обратных клапанов в выходных устройствах, штриховые — при отсутствии обратных клапанов. Кривые 1 отвечают расходу воздуха из выходного устройства, расположенного на наветренной стороне РН, кривые 2 — на подветренной стороне (общее количество внешних выходных устройств принято равным шести). Положительные значения расхода воздуха соответствуют истечению воздуха из отсека, отрицательные — втеканию воздуха в отсек. Из приведенных графиков видно, что отсутствие обратных клапанов в выходных устройствах при неравномерном распределении внешнего давления может приводить к втеканию наружного воздуха в отсек КА через выходные устройства, находящиеся в зонах максимального внешнего давления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ конструктивных и функциональных характеристик существующих систем термостатирования и дренирования РН показывает, что данные системы не в полной мере гарантируют обеспечение сохранности и работоспособности современных космических аппаратов, требующих повышенной чистоты пространства отсека, более низкого уровня тепловых и аэродинамических нагрузок на КА. Поэтому разработку новых СТС и модернизацию существующих необходимо выполнять на качественно новом техническом уровне с использованием предлагаемых в данной статье универсальных модульных систем.

Модульный принцип конструирования СТС состоит в создании системы из отдельных модулей, каждый из которых представляет собой унифицированный взаимозаменяемый узел, выполняющий самостоятельную функцию при различных вариантах компоновки СТС. Это существенно упрощает общий монтаж вариантов системы и облегчает настройку и эксплуатацию отсека для различных типов современных КА.

Отработка модульных СТС ставит ряд проблемных вопросов, связанных с расчетно-экспериментальным определением термодинамических и гидравлических характеристик отдельных узлов и элементов, полей скоростей воздуха вблизи поверхности КА, осредненных коэффициентов конвективного теплообмена, характера изменения давления в отсеке КА при истечении воздуха из отсека во время полета РН на АУТ.

Для выполнения экспериментальных отработок модульных СТС и отдельных узлов в ИТМ НАНУ и НКАУ разработан и создан полномасштабный стенд для исследования характеристик систем термостатирования. Стенд позволяет проводить отработку отдельных натуральных элементов и узлов СТС для определения или подтверждения проектных параметров системы локального обдува отдельных элементов КА; определения тепловых режимов теплонапряженных элементов РН и КА; исследования гидравлических характеристик узлов и элементов системы термостатирования отсеков РН. Методология экспериментальных исследований отработана при модернизации СТС РН «Зенит».

Существующее программно-методическое обеспечение позволяет проводить расчетные оценки термодинамических и гидравлических параметров модульных СТС для различных типов КА с учетом климатических и погодных условий на стартовой площадке, процессов дренирования отсеков КА при полете на АУТ при дозвуковых и сверхзвуковых режимах обтекания.

Получаемые результаты дают возможность оценить степень конструктивного совершенства модульных СТС и дренажных устройств, обеспечивающих поддержание термодинамических характеристик в необходимых диапазонах.

Использование имеющегося научно-методического обеспечения при проектной проработке ряда СТС, разработанных в ГКБ «Южное», показало его достаточную эффективность.

1. Галинский В. П., Тимошенко В. И. Проблемы создания научно-методического обеспечения по аэродинамике ракет-носителей // *Космічна наука і технологія*.—1998.—4, № 2/3.—С. 64—72.
2. Горбулин В. П., Завалишин А. П., Негода А. А., Яцкив Я. С. О космической программе Украины // *Космічна наука і технологія*.—1995.—1, № 1.—С. 7—12.
3. Дегтяренко В. И. Определение параметров воздуха в отсеке

ракеты на активном участке полета // *Техническая механика*.—1999.—№ 1.—С. 17—22.

4. Логачев П. П., Ляшенко Ю. Г., Осадчий А. В. Экспериментальный метод определения поля скоростей и степени турбулентности газового потока с автоматизированным съемом информации // *Механика жидкости и газа: Тез. доклада ежегодной научной школы-семинара ЦАГИ*. — ЦАГИ, 1992.—С. 118—119.
5. Тимошенко В. И., Белоцерковец И. С. Расчет среднеобъемных параметров в емкости с учетом массо- и энергоподвода, химических и фазовых превращений во времени // *Техническая механика*.—1994.—№ 3.—С. 25—29
6. Тимошенко В. И., Галинский В. П. Оперативный расчет пространственного сверхзвукового обтекания тел, близких к осесимметричным // *Изв. Вузов. Авиационная техника*.—1991.—№ 4.—С. 22—26.
7. Тимошенко В. И., Галинский В. П., Белоцерковец И. С. Проблемы математического моделирования процессов аэрогазодинамики ракет-носителей // *Вісник Дніпропетровського університету. Механіка*.—1998.—1, вип. 1.—С. 37—52.
8. Тимошенко В. И., Кнышенко Ю. В., Дегтяренко В. И. Математическая модель газодинамических процессов в системе гидравлически связанных емкостей // *Техническая механика*.—1993.—№ 5.—С. 3—9.
9. Timoshenko V. I., Galinsky V. P., Belotserkovets I. S. Problems scientific-methodical aerodynamical support of development of boost vehicles // *Proc. of the 2nd Ankara Intern. Aerospace Conf., Ankara, Turkey, 9-11 Sept., 1998*.—P. 445—452.

PROBLEMS OF THERMOSTATIC CONTROL AND SPACECRAFT SAFETY AT THE PRE-LAUNCH PERIOD AND DURING ORBITAL INJECTION

V. I. Timoshenko, A. V. Agarkov, Yu. I. Moshnenko, V. N. Sirenko, Yu. V. Knyschenko, and Yu. G. Lyashenko

We consider the problems of thermostatic control and spacecraft safety at the pre-launch period and during the powered flight of the launch vehicle. The present-day state and thermostatic control systems (TCS) development is conducted for spacecraft sections are analyzed. A module principle of TCS construction is proposed. Characteristics of experimental and software support of the modern TCS design, creation and development work are presented.