

ВЫБОР СИСТЕМЫ ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ ПОРОХОВЫХ РАКЕТ «ВОЗДУХ-ВОЗДУХ» НА ЭТАПЕ СТЕНДОВЫХ ИСПЫТАНИЙ

*Л.Б. Кабакова, мл. науч. сотр., Ю.К. Гонтарев, канд. техн. наук, зав. лаб., М.Ю. Гонтарев, зав. сект.,
Днепропетровский Национальный университет, г. Днепропетровск, Украина*

Общая постановка проблемы и её связь с научно-практическими задачами. Для определения эксплуатационных характеристик зарядов ракет типа «воздух–воздух» и их соответствия техническим требованиям необходимо проведение испытаний в условиях, близких к натурным. В частности, необходима имитация температурных режимов, так как условия эксплуатации зарядов изменяются в широком температурном диапазоне от -50 до $+50^{\circ}\text{C}$. Характеристики твердых топлив в таком диапазоне температур могут существенно изменяться. В связи с этим возникает необходимость в испытании изделий в широком диапазоне температур.

Обзор публикаций и анализ нерешённых проблем. Для термостатирования на плюсовые температуры используется воздух. Нагрев может осуществляться с помощью служебного воздуха, который подается в камеры сгорания, работающие на жидком топливе. Горячая смесь служебного воздуха и продуктов сгорания проходит по трубкам теплообменника, нагревая рабочий сжатый воздух. Температура воздуха регулируется изменением расхода топлива в камеры сгорания.

Для нагрева воздуха до температур порядка 600°C используются воздухоподогреватели рекуперативного вида. Для более высоких температур применяют воздухоподогреватели регенеративного типа – кауперы. При больших расходах воздуха используют огневой способ нагрева. Однако при относительно невысоких температурах воздуха использовать перечисленные способы нагрева нецелесообразно.

Термостатирование на «минус» может достигаться несколькими способами, например: вдувом азота в камеру; циркуляцией охлажденного воздуха. Охлаж-

дение камеры вдувом паров азота имеет ряд существенных недостатков, а именно:

- невозможность регулирования необходимого уровня температуры в камере;
- низкая точность поддержания температуры;
- необходимость в большом количестве азота при длительном термостатировании в связи с низкой теплотой испарения.

Цель исследований. Целью работы являлись: проектировка термокамеры и выбор системы термостатирования изделий основного производства в широком диапазоне температур, разработка мобильной парогенерирующей установки для термостатирования на плюсовые температуры; исследование интенсификации процессов теплообмена в целях уменьшения веса и габаритов установки.

Результаты исследований. Спроектированная термокамера представляла собой параллелепипед $2\text{X}2\text{X}2,5$ м с двумя днищами $2\text{X}2$ м. Внутри термокамеры размещались металлоконструкции весом до 250 кг и изделие, представляющее собой цилиндрическую металлическую оболочку массой 25 кг и наполнитель массой 35 кг. Рабочим телом при термостатировании являлся воздух, циркулирующий по кольцу через теплообменник-калорифер или воздухоохладитель.

В связи с тем, что в процессе проведения испытаний возможны разрушения камеры, теплогенерирующая и холодильная установки располагались на расстоянии не менее 1 м от камеры. Газоводы, соединяющие термокамеру с теплообменником-калорифером имели разъемы. После термостабилизации холодильная или теплогенерирующая установка разъединялась от камеры, и камера перемещалась на расстояние $\sim 2,5$ м.

Схема систем охлаждения и нагрева воздуха, который обеспечивает термостатирование изделий, показана на рис. 1.

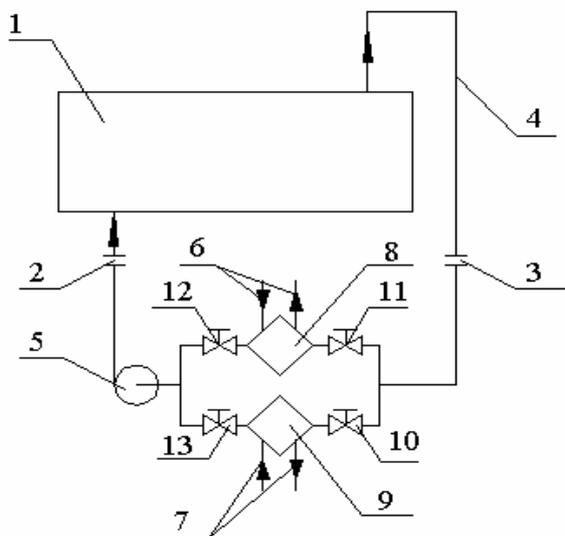


Рис. 1. Схема системы термостатирования:

- 1 – накатная камера;
- 2, 3 – разъёмы;
- 4 – газовод;
- 5 – вентилятор;
- 6 – трубопроводы к холодильной установке;
- 7 – трубопроводы к теплогенератору;
- 8 – воздухоохладитель;
- 9 – теплообменник-калорифер;
- 10, 11, 12, 13 – заглушки

Для охлаждения воздуха была выбрана установка, описанная в [2], использующая двухступенчатый фреоновый холодильный турбоагрегат. Охлаждение воздуха осуществлялось в теплообменнике 8 с помощью антифризов, которые в свою очередь охлаждаются в испарителях холодильной машины. На рис. 2 показана принципиальная схема холодильного турбоагрегата для охлаждения воздуха.

Пары холодильного агента из двух низкотемпературных испарителей 5, 6 последовательно сжимаются в первых двух ступенях компрессора 1 и затем направляются в промежуточный сосуд 12 для охлаждения. Далее они с парами, отсасываемыми из высокотемпературного испарителя 10, сжимаются в следующих двух ступенях компрессора 2. Таким образом, компрессор разделен на две секции, каждая из которых состоит из двух колес и имеет отдельные всасывающий и нагнетательный патрубки. Первые два колеса условно называют низкотемпературной

ступенью компрессора, а последующие два – высокотемпературной. Все четыре колеса смонтированы на одном валу и в одном корпусе. Компрессор приводится в действие от синхронного электродвигателя 4 через зубчатую повышающую передачу 3.

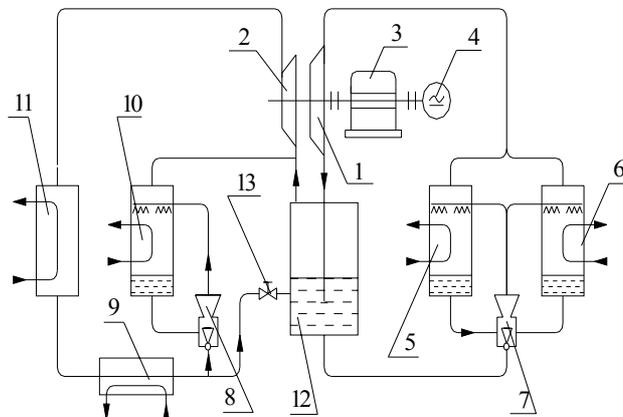


Рис. 2. Принципиальная схема холодильного агрегата для охлаждения воздуха:

- 1 – низкотемпературная ступень компрессора;
- 2 – высокотемпературная ступень компрессора;
- 3 – повышающая передача;
- 4 – синхронный электродвигатель;
- 5, 6 – низкотемпературные испарители;
- 7, 8 – инжекторы;
- 9 – переохладитель,
- 10 – высокотемпературный испаритель;
- 11 – конденсатор;
- 12 – промежуточный сосуд;
- 13 – регулирующий вентиль

Сжатые пары фреона из высокотемпературной ступени компрессора направляются в конденсатор, где охлаждаются и конденсируются. После переохлаждения в переохладителе 9 часть жидкого фреона поступает через регулирующий вентиль 13 в промежуточный сосуд 12, а другая часть через инжектор 8 - в испаритель 10. Образующиеся при дросселировании пары фреона отсасываются из промежуточного сосуда 12 высокотемпературной ступенью компрессора 2.

Помимо основного оборудования, показанного на принципиальной схеме, турбоагрегат имеет ряд вспомогательных элементов: поршневой компрессор с конденсатором и маслоотделителем, сборный бак для фреона (ресивер), воздухоохладитель, фильтр, дегидратор, запорную арматуру, регулирующие устройства и др.

Для термостатирования на плюсовые температуры (+56 °С) была выбрана замкнутая схема обогрева, в которой подогретый рабочий воздух поступает в камеру, охлаждается и подается на теплообменник. Использование замкнутой схемы движения воздуха позволяет снизить затраты энергии при термостатировании.

Для обогрева воздуха использовался теплообменник–калорифер, который входил в замкнутый контур мобильной парогенерирующей установки, схема которой показана на рис. 3.

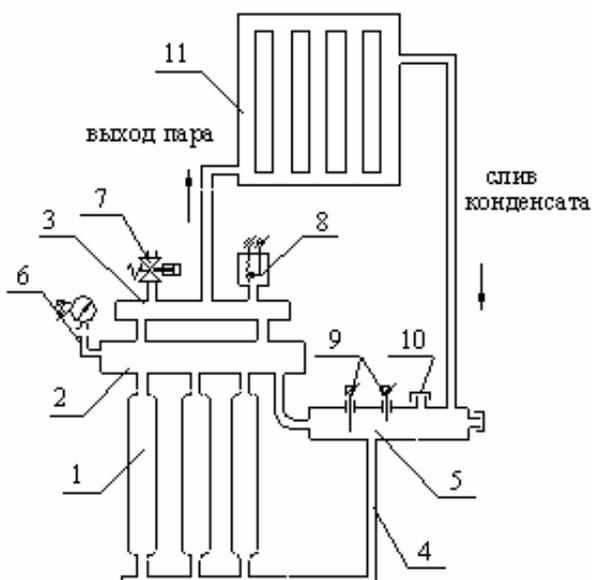


Рис. 3. Схема парогенерирующей установки:

- 1 – нагревательные блоки;
- 2 – паровый коллектор;
- 3 – сепаратор;
- 4 – опускной патрубков;
- 5 – компенсатор;
- 6 – ЭКМ;
- 7 – предохранительный клапан;
- 8 – датчик давления;
- 9 – электроконтактный уровнемер;
- 10 – переливной патрубков;
- 11 - теплообменник-калорифер

Нагревательные блоки парогенерирующей установки представляли собой цилиндрический сосуд, наружная поверхность которого снабжена спиральной канавкой и покрыта изоляционным материалом, способным сохранять свои изоляционные свойства при температуре до 500°С. В канавке уложен нагреватель с удельным сопротивлением 0.05-0.098 Ом·мм²/м [3], что позволило выполнить блок

компактным при сравнительно большой мощности. Такая конструкция обеспечивала одинаковую плотность теплового потока по всей поверхности нагревательного блока. Теплообменник-калорифер был выполнен из набора оребренных вертикальных труб, объединенных сверху и внизу коллекторами. Пар, образовавшийся в нагревательных блоках, поступал в верхний коллектор теплообменника, конденсировался на внутренней поверхности трубок, отдавая теплоту парообразования циркулирующему через теплообменник воздуху. Образовавшийся конденсат собирался в нижнем коллекторе, откуда по опускному патрубку под действием силы тяжести стекал в компенсационную емкость, которая сообщалась с полостью нагревательных блоков.

Для обеспечения постоянного омыwania водой внутренней полости нагревательного блока использовался электроконтактный уровнемер, а для предотвращения неуправляемого роста давления в контуре при уменьшении интенсивности теплообмена в теплообменнике-калорифере устанавливались электроконтактный манометр и датчик давления.

Установка снабжена автоматической системой управления с обратной связью по температуре воздуха в термокамере, что обеспечивает возможность точного поддержания заданного режима термостабилизации изделий.

Одним из основных требований к теплогенерирующей установке является минимальные габариты и вес при максимальной эффективности и надежности.

Необходимость уменьшения веса и габаритов установки потребовала исследования интенсификации процессов теплообмена при кипении в нагревательных блоках. Наиболее перспективным способом интенсификации теплообмена применительно к термосифонам, по мнению авторов, является организация кипения в стесненных условиях, а именно, в щелевых каналах. Щелевой канал образовывался путем установки тонкостенного цилиндра коаксиально с корпусом нагревательного блока.

В основу теоретического исследования интенсификации теплообмена при кипении в щелевом канале

положена модель гетерогенных взаимопроникающих сред. Ее преимуществом является то, что несущая и дисперсная фазы рассматриваются отдельно друг от друга и описываются соответствующими уравнениями движения и тепломассообмена, при этом процесс взаимодействия сред учитывается с помощью членов, характеризующих силовые, тепловые напряжения и потоки на границах дисперсных включений.

Проведенные теоретические исследования процесса кипения в щелевом канале [4] позволили получить данные об основных параметрах (объемном паросодержании, скорости фаз, температурах стенки и жидкости) по высоте нагревательного блока.

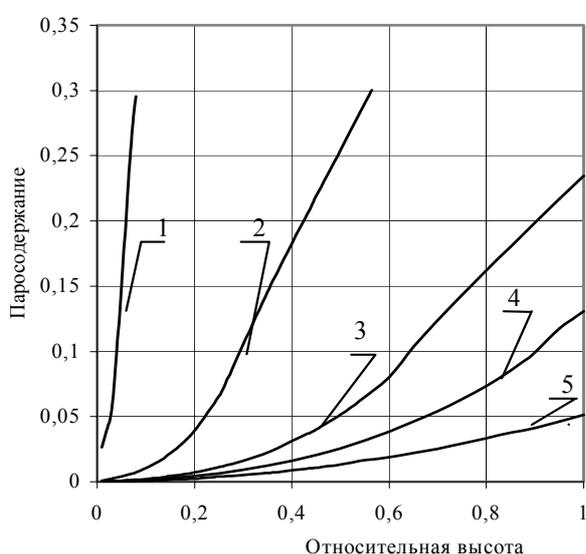


Рис. 4. Изменение объемного паросодержания по высоте при различных давлениях

- 1 – 1 атм.;
- 2 – 10 атм.;
- 3 – 20 атм.;
- 4 – 30 атм.;
- 5 – 40 атм.

На рис. 4 показано изменение объемного паросодержания по высоте при различных давлениях для величины щели 5 мм. Как следует из рис. 4, пузырьковое кипение по всей высоте испарительной зоны при величине зазора 5 мм может существовать при 20 атм. и выше.

Получено, что наибольший коэффициент теплоотдачи реализуется при развитом пузырьковом кипении. При этом режиме объемное паросодержание ф

не превышает 0,3. Пузырьковое кипение по всей высоте испарительной зоны при величине зазора 5 мм может существовать при 20 атм. и выше.

Перспективы дальнейших исследований. Полученная математическая модель может претендовать на качественное решение задачи определения основных параметров в зоне кипения парогенерирующей установки и может улучшаться по мере более точного экспериментального определения необходимых параметров.

Выводы. Проведенные исследования позволили:

- спроектировать эффективную систему термостатирования, включающую в себя парогенератор и холодильную установку, обеспечивающие необходимые эксплуатационные характеристики;
- обеспечить необходимую точность поддержания параметров термостатирования изделий
- провести мероприятия по уменьшению веса и габаритов парогенерирующей установки, а также по увеличению ее надежности.

Литература

1. Николаев Ю.М., Соломонов Ю.С. Инженерное проектирование управляемых баллистических ракет с РДТТ.– М.: Военное изд-во министерства обороны СССР, 1979.– 240 с.
2. Шишков А.А., Силин Б.М. Высотные испытания реактивных двигателей.– М.: Машиностроение, 1985.– 208 с.
3. Патент № 2087796 СССР. Установка для получения тепла. Утв. 20 августа 1997.
4. Гонтарев Ю.К., Елисеев В.И., Кабакова Л.Б. Кипение в щелевых каналах двухфазных термосифонов // Системне проектування та аналіз характеристик аерокосмічної техніки.– Дніпропетровськ: Навчальна книга, 2002.- Т. 6.- С. 51 - 71.

Поступила в редакцию 15.05.03

Рецензенты: канд. техн. наук А.А. Панченко; канд. техн. наук Ю.В. Дронов, г. Днепропетровск.