

УДК 629.78.048.3 (075.8)

Г.А. ГОРБЕНКО, д-р техн. наук, Д.В. ЧАЙКА, Н.И. ИВАНЕНКО

*Национальный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского  
«Харьковский авиационный институт», г. Харьков, Украина*

### **СТАРТОВАЯ СИСТЕМА ТЕРМОСТАТИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО РАКЕТНОГО КОМПЛЕКСА НА БАЗЕ ФРЕОНОВЫХ ХОЛОДИЛЬНЫХ МАШИН**

Розглянута актуальність розробки сучасних та ефективних стартових систем термостатування ракетно-космічних комплексів. Розглянути існуючі засоби забезпечення потрібної вологості повітря у стартових системах термостатування. Запропонована принципова схема стартової системи термостатування на базі фреонових холодильних машин із використанням підпорного дроселю.

Actuality of modern high-efficient base thermal control systems development for space rockets is examination. Existence providing methods for humidity control in base thermal control systems for space rockers is submit for consideration. Principle scheme of base thermal control systems for space rockers, with freon refrigerating unit and supporting throttle is propose.

В настоящее время Украина принимает активное участие в международных космических программах, направленных на запуск ракет космического назначения. Для этого необходимо строительство стартовых площадок со всей необходимой инфраструктурой. Одним из важных условий запуска спутников является обеспечение их температурных режимов в период сборки, транспортировки и предстартовой подготовки. Для этого в состав наземных комплексов и стартового оборудования входят воздушные системы термостатирования. Сейчас все большее количество космических запусков проводится по так называемым «экономичным траекториям» из района экватора Земли. Специфические параметры окружающей среды (высокая влажность, температура и присутствие соляных туманов), а также большое количество вариантов полезного груза ракет-носителей приводит к необходимости разработки высокоэффективных систем кондиционирования воздуха в отсеках ракет. Поскольку диапазоны требуемых параметров подаваемого в отсеки воздуха определяются типом и конструктивным исполнением полезного груза, то требуемый диапазон параметров подаваемого воздуха очень редко можно обеспечить унифицированной конструкцией существующих стартовых систем кондиционирования, не накладывая существенных ограничений на параметры полезной нагрузки. Большое количество вариантов обеспечения параметров воздуха приводит к необходимости обоснования, формирования показателей и критериев эффективности таких систем и их оптимизации в соответствии с этими критериями. Поэтому задача создания эффективной, энергоэкономичной и универсальной стартовой системы термостатирования является актуальной.

Стартовая система термостатирования предназначена для поддержания необходимых температурно-влажностных режимов в головном блоке и сухих отсеках ракеты-носителя, находящейся на пусковом столе, путем непрерывной подачи в них термостатирующего воздуха в течение всего периода предстартовой подготовки, а также в период отмены пуска при не отведенной стреле транспортно-установочного агрегата.

Стартовая система термостатирования (СТС) относится к технологическим системам стартового комплекса и при проектировании требует решения множественных задач, для обеспечения не только выполнения требований технического задания, но и для обеспечения совместной работы СТС с прочими системами стартового комплекса (СК).

Наиболее сложным в реализации подобных систем процессом является осушка воздуха до требуемой точки росы. Обычно для осушки воздуха используются следующие основные способы:

1) *Физико-химические осушители*

Для осушки воздуха путем физико-химического поглощения влаги в качестве поглотителей применяются водные растворы солей и твердые поглотители.

Основным недостатком физико-химических осушителей является существенное снижение их работоспособности при температурах, превышающих 30 °С. Их использование в системах обработки воздуха целесообразно только при низкой потребной температуре точки росы (ниже минус 10 °С), когда отделение влаги конденсацией приводит к быстрому нарастанию снежной шубы на теплообменниках и увеличению потребной холодопроизводительности.

2) *Хемосорбционные осушители*

Использование хемосорбционных осушителей для решения задач термостатирования затруднено по причине сильной зависимости степени осушения от температуры и относительной влажности воздуха, а также вследствие сложной природы химических реакции, затрудняющей расчет.

3) *Осушка воздуха конденсацией.*

Осушку воздуха можно осуществлять путем контакта воздуха с охлаждаемой поверхностью, температура которой ниже точки росы. Для отделения образовавшейся воды или льда из осушенного воздуха в этом случае необходимо применять дополнительные сепараторы, иначе конечное влагосодержание воздуха может оказаться выше заданного. Процесс осушки путем конденсации на холодной поверхности в энергетическом соотношении является наиболее выгодным для решения задач осушения при температурах точки росы выше 0 °С.

В качестве источника холода, необходимого для процессов охлаждения и осушения воздуха в системах термостатирования, применяют различные типы холодильных машин:

1) *Абсорбционные холодильные машины*

Эти машины применяют в тех случаях, когда в качестве основного источника энергии для получения холода целесообразно использовать тепло. Перспективно применение абсорбционных холодильных машин в системах централизованного холодоснабжения с использованием тепла от ТЭЦ или котельных, которые зимой обеспечивают системы отопления зданий, а летом могут отдавать тепло на получение холода. Экономические показатели применения абсорбционных холодильных машин, прежде всего, определяются источником подачи тепла, которое используется для выработки холода.

2) *Воздушные холодильные машины*

Значительным преимуществом турбохолодильных машин является их малый вес и габариты, а также отсутствие специального холодильного агента, вызывающего необходимость применения теплообменных аппаратов для осуществления процессов тепло- и массопереноса при обработке кондиционируемого воздуха. Но их существенным недостатком является повышенный расход энергии для получения

холода по сравнению с другими типами холодильных машин.

*3) Осушение и охлаждение воздуха с помощью вихревых труб*

В вихревой трубе реализован эффект Ранка, заключающийся в разделении высокоскоростного потока на холодный и горячий. Высокие затраты на сжатие воздуха, необходимость использования обеспечения большего расхода воздуха а также сложности в реализации алгоритмов управления делают использование вихревой трубы нецелесообразным для решения задач термостатирования.

*4) Парокомпрессионные холодильные машины*

Работа холодильной машины этого типа обуславливается процессами изменения агрегатного состояния холодильного агента, циркулирующего по контуру машины. Современные парокомпрессионные машины обладают хорошей энергетической эффективностью и степенью автоматизации, что делает перспективным их применение в стартовых системах термостатирования космических ракетных комплексов.

Максимально допустимое влагосодержание влажного воздуха определяется как:

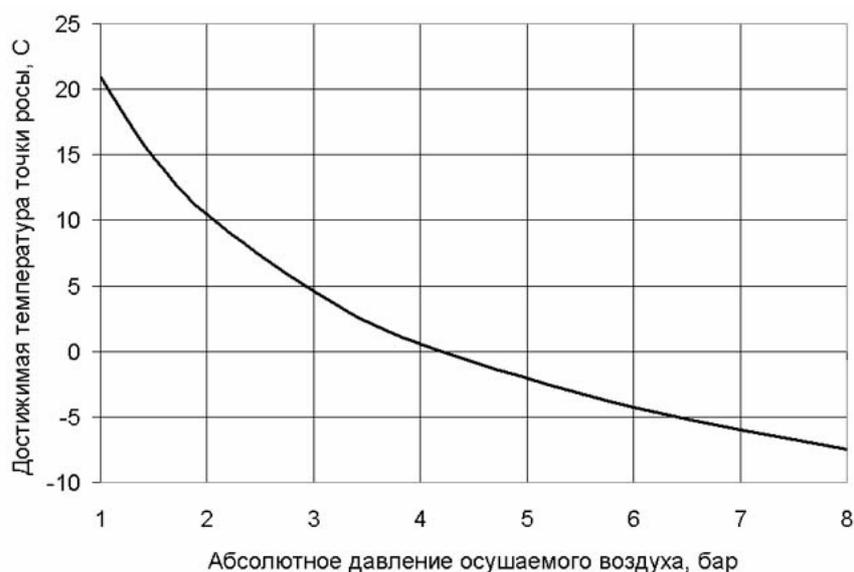
$$d_{\max} = 0,622 \cdot \frac{P_S}{P_B - P_S}, \quad (1)$$

где  $P_S$  – давление насыщения водяных паров при текущей температуре влажного воздуха;

$P_B$  – давление влажного воздуха;

Соответственно, повышая давление воздуха при постоянной температуре (реализуется путем охлаждения сжатого воздуха до первоначальной температуры), можно добиться его осушения.

При высоком давлении обрабатываемого воздуха, достаточно низкие значения температуры точки росы можно получить, используя охлаждение обычным атмосферным воздухом. На рис. 1 приведена зависимость достижимой температуры точки росы от абсолютного давления осушаемого воздуха. Температура, до которой охлаждается осушаемый воздух, в этом расчетном случае принята равной +21 °С, что можно легко получить, используя для охлаждения атмосферный воздух.



**Рис. 1. Зависимость достижимой температуры точки росы осушаемого воздуха от абсолютного давления при температуре 21 °С**

Видно, что при давлении воздуха, близком к атмосферному, температура точки росы приближается к температуре воздуха, выходящего из теплообменного аппарата. Снижать температуру воздуха ниже точки замерзания влаги нецелесообразно, поскольку это приводит к необходимости периодической оттайки, существенному усложнению конструкции и алгоритмов работы системы термостатирования. На рис. 2 приведены результаты экспериментальных исследований процессов осушки воздуха при различных давлениях, полученные на стенде ФА-СТС в НАУ «ХАИ», при паспортной эффективности влагоотделителя 95 %, и их сравнение с расчетной минимальной достижимой температурой точки росы, которая будет иметь место при эффективности отделения влаги 100 %.

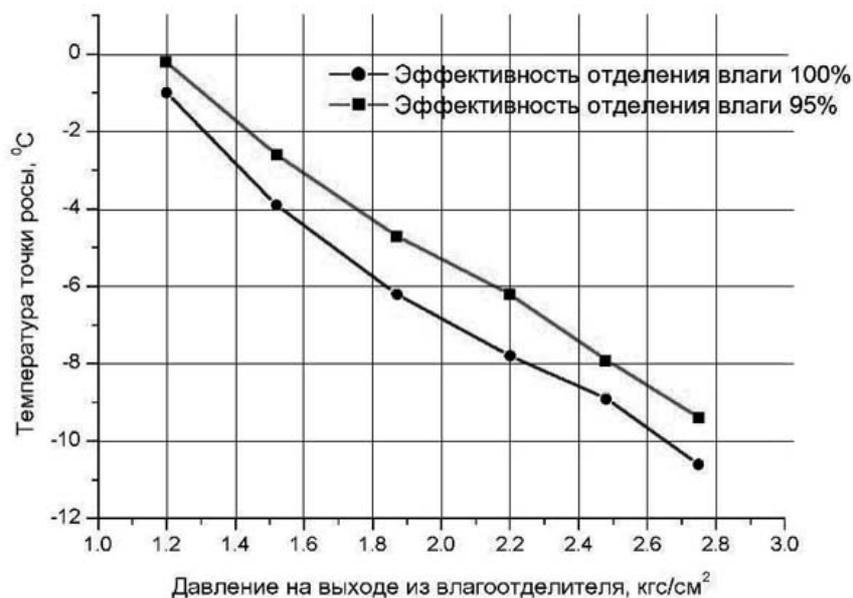


Рис. 2. Экспериментальная зависимость температуры точки росы осушаемого воздуха от абсолютного давления при эффективности отделения влаги 95 %

На основании проведенных расчетов и данных экспериментов было принято решение, что целесообразной является установка подпорного дросселя за связкой теплообменник-сепаратор, чтобы снизить температуру точки росы обрабатываемого воздуха, не снижая при этом температуру поверхности теплообмена ниже температуры замерзания влаги.

Таким образом, при незначительном повышении давления, появляется возможность эффективно использовать фреоновые холодильные машины для осушения воздуха до точки росы ниже 0 °C, вместо традиционных физико-химических осушителей или осушителей воздуха высокого давления.

Принципиальная схема такой системы термостатирования на базе фреоновых холодильных машин с использованием подпорного дросселя приведена на рис. 3.

Воздух от компрессора или нагнетателя проходит через теплообменник АТ1 и влагоотделитель ВО, а затем через регулируемый дроссель Др1 поступает на термостатирование отсеков.

Влага, конденсирующаяся в теплообменнике АТ1 отделяется во влагоотделителе ВО и сливается из системы.

Для регулирования температуры термостатирующего воздуха за дросселем Др1 может быть установлен нагреватель-доводчик. В этом случае точка росы обеспечивается конденсационным осушителем, а температура – нагревателем.

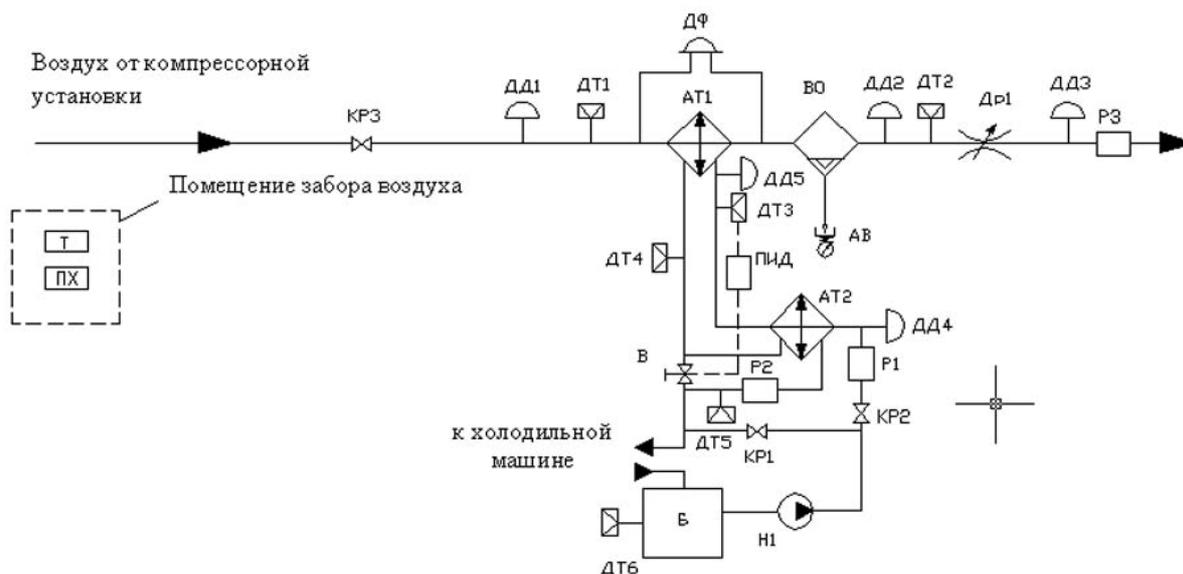


Рис. 3. Схема пневмогидравлическая принципиальная системы термостатирования воздуха на базе холодильных машин с подпорным дросселем

Охлаждающая жидкость прокачивается по контуру при помощи насоса *Н1*. Из буферного бака рабочая среда поступает в теплообменник *АТ2*, где ее температура стабилизируется на требуемом температурном уровне, а затем служит для охлаждения воздуха в теплообменнике *АТ1*. Отопленный теплоноситель через регулирующий кран *В*, управляемый регулятором *ПИД* по сигналу датчика температуры *ДТ3*, опять поступает в теплообменник *АТ2*, где за счет своей более высокой температуры позволяет подогреть теплоноситель, идущий на охлаждение воздуха, и возвращается в бак.

Данное схемное решение обладает высокой степенью унификации, поскольку варьируя степень закрытия подпорного дросселя и мощностью нагревателя-доводчика, можно легко управлять температурой и влажностью воздуха, приспособив его параметры к конкретным задачам. Это позволяет эффективно использовать системы на базе фреоновых холодильных машин для термостатирования различной полезной нагрузки космического ракетного комплекса.

#### Литература

1. Теплообменные аппараты, приборы автоматизации и испытания холодильных машин: Справочник / Под ред. А.В. Быкова. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1984. – 248 с.
2. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. – М.: Атомиздат, 1970. – 416 с.
3. Кириллин В.А. Техническая термодинамика / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейншлин. – М.: Энергия, 1974 – 448 с.
4. Воронин Г.И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах. – М.: Машиностроение, 1973.
5. Маак В., Эккерт Ю. Учебник по холодильной технике / Пер. с франц., под ред. Б.В. Сапожникова. – М.: Московский университет, 1998.

© Горбенко Г.А., Чайка Д.В., Иваненко Н.И., 2008