

И. В. Тищенко, Д. А. Кудерко

ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА ЛЕГКИХ САМОЛЕТОВ И ВЕРТОЛЕТОВ

Проведены исследования в области разработок систем кондиционирования воздуха легких самолетов и вертолетов, предложена концепция систем кондиционирования воздуха для таких летательных аппаратов. Результаты данной работы могут быть использованы при проектировании макета и опытного образца системы кондиционирования воздуха легких самолетов и вертолетов на стадиях разработки технических предложений, эскизного и технического проектирования.

E-mail: IV.Tishenko@npo-nauka.ru; DA.Kuderko@npo-nauka.ru

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, парокомпрессионный холодильный цикл.

Для реализации положения “Основы государственной политики Российской Федерации в Арктике на период до 2020 года и дальнейшую перспективу” [1] необходимо обеспечить решение задачи широкого применения авиационной техники, в том числе малой авиации (МА), для транспортных нужд регионов РФ.

К МА относятся: самолеты с максимальной взлетной массой до 8600 кг и числом пассажиров не более 19 человек, вертолеты с максимальной взлетной массой до 4500 кг, их двигатели, агрегаты и бортовое оборудование, а также соответствующая наземная инфраструктура.

В настоящее время состояние МА не соответствует задачам социально-экономического развития и обеспечения национальной безопасности РФ.

Для обеспечения конкурентоспособности отечественной авиатехники МА необходима разработка легких многоцелевых самолетов (ЛМС) и вертолетов.

Одной из основных систем такого самолета или вертолета, выполняющего местные перевозки в РФ при обеспечении конкурентоспособности отечественной МА, будет система жизнеобеспечения (СЖО), которая может включать в себя систему кондиционирования воздуха (СКВ), систему кислородного питания и др.

Для разработки СКВ, входящей в СЖО, необходимо решить следующие задачи:

1. Провести оценку и выбор наиболее перспективных решений в области оборудования СЖО самолетов и вертолетов.

2. Провести исследования СКВ самолетов и вертолетов, в том числе анализ существующих и перспективных отечественных и зарубежных СКВ самолетов и вертолетов, а также вариантов структуры и состава СКВ.

Сравнение различных типов СКВ и обоснование выбора типа СКВ. Кондиционирование воздуха на самолетах и вертолетах предназначается для поддержания на заданном уровне группы параметров: температуры, влажности, количества вредных примесей или загрязнений в воздухе, температуры внутренних поверхностей стенок кабины или отсека, характера циркуляции и скорости вентиляционных потоков, причем это должно осуществляться в условиях изменяющегося давления в кабине и для всего многообразия быстро меняющихся режимов работы. Диапазон внешних условий в течение одного полета является весьма широким: температура набегающего потока и наружных поверхностей стенок кабины может изменяться от -60°C (на высоте более 11 км и в зимнее время у земли) до $+150 \dots 200^{\circ}\text{C}$ вследствие аэродинамического нагрева; атмосферное давление на максимальной высоте полета может составлять примерно 5 % давления на Земле.

В настоящее время совершенство СКВ и обеспечиваемый ими уровень комфортности условий в кабине летательного аппарата (ЛА) во время полета входят в число важных факторов, определяющих его конкурентоспособность.

Для решения задачи кондиционирования воздуха может быть использовано два варианта СКВ: с воздушным холодильным циклом; с парокомпрессионной холодильной машиной [2].

В настоящее время системы на базе воздушного цикла (ВЦ) применяются на большинстве ЛА.

Основные преимущества СКВ на базе ВЦ:

- относительно простая конструкция и высокая надежность;
- независимость от положения ЛА в пространстве;
- простота эксплуатации;
- использование в качестве рабочего тела воздуха;
- снижение требований к герметичности системы.

Основные недостатки СКВ на базе ВЦ:

- при равной холодопроизводительности система на базе ВЦ потребляет почти вдвое большую мощность, чем система на базе ПКЦ;
- сжатый воздух отбирается от компрессора двигателя, что приводит к ухудшению эксплуатационных характеристик ЛА;
- для работы на стоянке требуется включение основной или вспомогательной силовой установки.

Основные преимущества систем кондиционирования на базе парокомпрессионного цикла (ПКЦ):

- значительно меньшие затраты мощности, высокий КПД и соответствующее повышение энергоэффективности СКВ;

— электропривод компрессора может осуществляться как от бортового, так и от наземного источников питания (в последнем случае появляется возможность кондиционирования самолета на стоянке без использования аэродромных кондиционеров);

Основные недостатки систем кондиционирования на базе ПКЦ:

— возрастают требования к герметичности и прочности систем из-за повышенного рабочего давления в контуре и необходимости исключить утечки хладагента;

— более сложная конструкция, большие массы и габаритные размеры;

— более сложная технология производства и, соответственно, более высокая цена.

Примеры использования СКВ на основе ВЦ на ЛА приведены на рис. 1 и 2.

Схема СКВ транспортного вертолета Sikorsky Aircraft Corporation SH-60B [2] (см. рис. 1) выполнена на базе ВЦ. Рабочий воздух отбирается от компрессора двигателя или вспомогательной силовой установки, проходит через регуляторы давления и расхода, далее поступает в первичный теплообменный аппарат (ТА), где охлаждается продувочным забортным воздухом. Затем рабочий воздух поступает в ком-

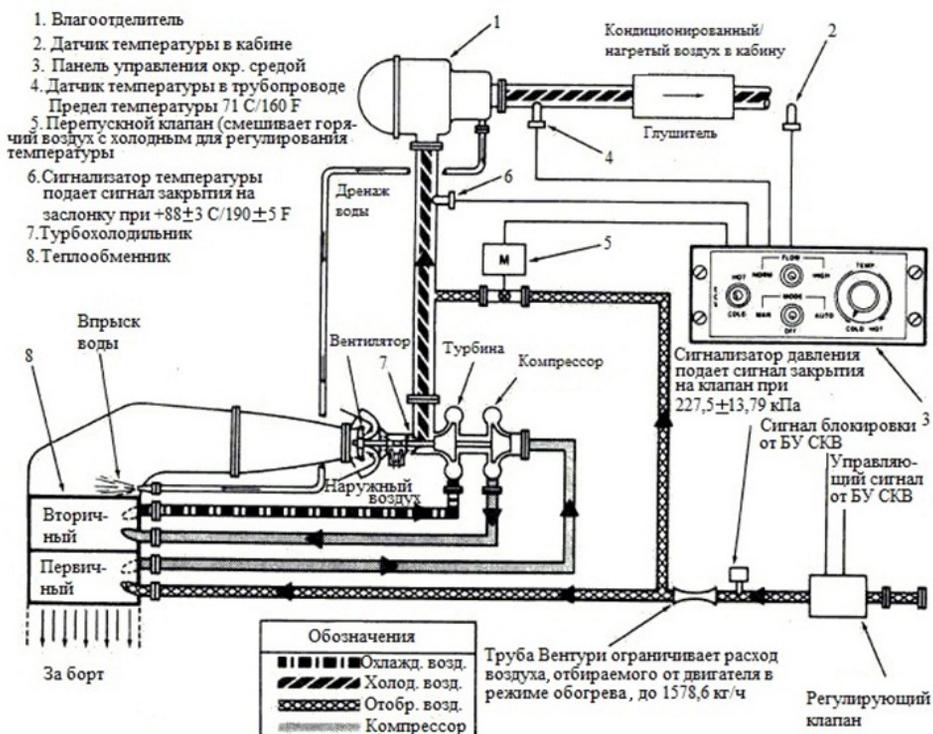


Рис. 1. Схема СКВ на основе ВЦ транспортного вертолета SH-60B

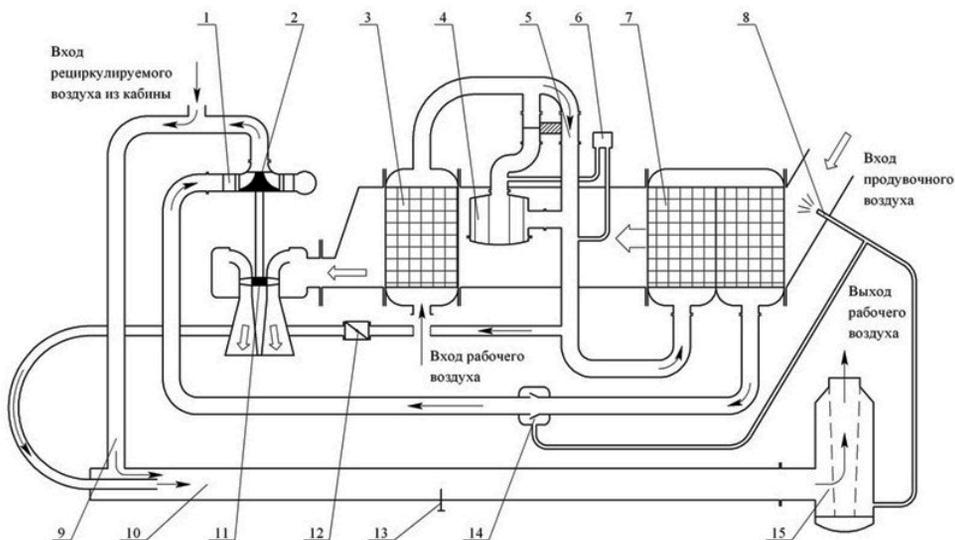


Рис. 2. Блок агрегатов СКВ на основе ВЦ транспортного вертолета Ми-26:

1 — сопловой аппарат; 2 — турбина; 3 — первичный воздухо-воздушный теплообменник; 4 — фильтр; 5 — патрубок; 6 — измерительный комплекс реле давления; 7 — вторичный воздухо-воздушный ТА; 8 — форсунка; 9 — тройник; 10 — эжектор; 11 — вентилятор; 12 — заслонка регулирующая; 13 — приемник температуры; 14 — влагоотделитель щелевой; 15 — влагоотделитель

прессор турбохолодильника, где сжимается и вследствие этого нагревается. После этого рабочий воздух поступает во вторичный ТА, где охлаждается забортным продувочным воздухом. Охлажденный во вторичном ТА рабочий воздух поступает в турбину турбохолодильника, где расширяется и охлаждается. Затем рабочий воздух попадает во влагоотделитель, где происходит отделение капельной влаги, сконденсировавшейся в процессе охлаждения, которая затем через дренажный штуцер отводится из влагоотделителя и с помощью форсунки впрыскивается в продувочный тракт вторичного ТА для повышения эффективности. Далее рабочий воздух проходит через глушитель и поступает в кабину объекта. Охлаждающий продувочный воздух поступает из атмосферы через воздухозаборник и, пройдя через общий продувочный тракт первичного и вторичного ТА, выбрасывается в атмосферу. В продувочный тракт воздух подсасывается с помощью вентилятора турбохолодильника. Также в данной схеме присутствует дополнительная обводная линия с перепускным регулирующим клапаном, обеспечивающая смешивание горячего воздуха с холодным для регулирования температуры. В системе присутствуют датчики давления и температуры для замеров давления и температуры в различных точках тракта СКВ.

На рис. 2 представлена схема блока агрегатов СКВ, разработанная ведущим отечественным разработчиком и производителем СКВ ОАО НПО «Наука» для транспортного вертолета Ми-26 [2].

Рабочий воздух, отбираемый от двигателя или вспомогательной силовой установки, предварительно прошедший систему ограничения давления и расхода, поступает сначала в первичный воздуховоздушный ТА 3, затем во вторичный воздуховоздушный ТА 7. Окончательно воздух охлаждается в турбине турбохолодильника 2 с регулируемым сопловым аппаратом 1.

Охлаждающий (продувочный) воздух подсасывается вентилятором турбохолодильника 11 и поступает сначала в продувочную полость вторичного ТА, а потом первичного. Продувочный контур ТА общий.

Сконденсировавшаяся в процессе охлаждения воздуха влага удаляется из потока в щелевом влагоотделителе 14 и во влагоотделителе 15. Выделенная влага с помощью форсунки 8 впрыскивается в продувочный тракт ТА для повышения эффективности охлаждения.

В случае радиоактивного заражения воздуха его подача осуществляется через фильтр 4. Подключение фильтра к работе блока осуществляется путем перестановки патрубка 5, при этом заглушенный конец патрубка 5 устанавливается в обводную магистраль, а открытый — в магистраль фильтра. Контроль за работой фильтра осуществляется измерительным комплексом реле давления 6, который подает сигнал на приборную панель объекта в случае превышения допустимого перепада давления до и после засоренного фильтра. Приемник температуры 13 предназначен для автоматического регулирования температуры перед влагоотделителем 15 перед подачей воздуха в кабину объекта. Блок имеет две линии по рабочему воздуху — холодную и горячую и может работать только на двух режимах: максимальной холодопроизводительности и максимальной теплопроизводительности.

На режиме максимальной холодопроизводительности весь рабочий воздух, поступающий в блок, проходит через первичный и вторичный ТА, патрубок, турбохолодильник, при этом сопловой аппарат турбохолодильника полностью открыт, а регулирующая заслонка полностью закрыта.

На режиме максимальной теплопроизводительности весь поступающий рабочий воздух, минуя вторичный ТА и турбохолодильник, идет через регулирующую заслонку на эжектор 10, при этом сопловой аппарат турбохолодильника полностью закрыт, а регулирующая заслонка полностью открыта.

Для снижения температуры рабочего воздуха, при необходимости, эжектор подсасывает воздух из гермокабины через тройник 9.

На данном этапе развития наибольшее распространение получили СКВ на основе ВЦ. Такие СКВ применяются на различных самолетах и вертолетах; СКВ на основе ПКЦ применяются в основном за рубежом на вертолетах различных классов и размерностей и ЛМС — как опция.

В отечественной авиации применение СКВ на основе ПКЦ на ЛА не получило такого широкого распространения. В качестве примеров можно привести вертолеты Ми-4, Ми-8, Ка-26, самолет Ту-144. На современных большегрузных пассажирских самолетах, на военных самолетах применяются системы с ПКЦ для охлаждения бортовой аппаратуры, нежилых отсеков, для охлаждения рециркуляционного воздуха ВЦ в связи со все более возрастающими тепловыми нагрузками и высокой эффективностью ПКЦ, т.е. используется так называемая гибридная СКВ. Примерами могут служить такие самолеты, как Boeing 787, F-22 Raptor, проектируемый российский самолет МС-21, отечественный маловысотный самолет [3] и др. На зарубежных вертолетах широко применяются СКВ на основе ПКЦ. Примерами могут служить вертолеты фирм Sikorsky, Eurocopter, AgustaWestland, Robinson.

Таким образом, в настоящий момент на ЛА различных типов используются СКВ: на базе ВЦ; на базе ПКЦ; гибридные системы, сочетающие в себе ВЦ и ПКЦ.

В состав СКВ на базе ВЦ входят: турбохолодильники, влагоотделители, сетевые регуляторы давления, регуляторы расхода, осушители, установки охлаждения воздуха, воздухо-воздушные ТА, оросители, перепускные устройства, задатчики температуры, блоки управления, сигнализаторы температуры, вентиляторы, воздушные фильтры, контрольная и регулирующая аппаратура.

В состав СКВ на основе ПКЦ входят: компрессоры, конденсаторы; испарители; регулирующие вентили; фильтры-осушители; контрольная и регулирующая аппаратура [4].

Можно утверждать, что воздушные холодильные установки приближаются к техническому “потолку”, в то время как развитие парокompрессионных холодильных установок находится в начальной стадии и позволяет рассчитывать на существенное улучшение технических характеристик в ближайшем будущем.

Использование при создании парокompрессионных холодильных установок новейших разработок в области холодильных центробежных компрессоров, компактных пластинчато-ребристых ТА, а также современных технологий позволяет существенно уменьшить массу и габаритные размеры, решает проблемы компоновки и герметичности. Относительно высокая цена при производстве парокompрессионных холодильных установок компенсируется существенно более низкими эксплуатационными затратами.

Таким образом, разработка бортовой установки, действующей по ПКЦ, обоснованна и отвечает современным потребностям авиасооружения.

Монреальским протоколом установлен ряд ограничений применения традиционных хладагентов и, в первую очередь, наиболее распространенного в системах кондиционирования R12. В качестве разрешенных к использованию хладагентов рассматриваются следующие вещества: R134a, R152a, R143a, R125, R227, R236fa, R218, RC318 и др. Из производимых в РФ хладонов в создаваемой установке может быть использован R22. Однако срок его применения ограничен 2030 г. Кроме того, для данного хладона характерны высокие рабочие давления в климатических условиях применения бортовой установки, что приведет к необходимости упрочнения и утяжеления элементов хладонового контура.

Поэтому в будущей хладоновой установке для ЛМС целесообразно применить хладагент из числа рекомендованных Монреальским протоколом. Рабочим условиям эксплуатации в составе авиасредства в наибольшей степени отвечает R134a — ближайший термодинамический аналог R12.

Данный хладагент является наиболее распространенным в мире, производится целым рядом химических предприятий и не является дефицитным. Кроме того, количество хладона в установке незначительно и практически не влияет на эксплуатационные затраты.

Для снижения утечек хладагента при монтаже, обслуживании и эксплуатации целесообразно создание установки в моноблочном исполнении в полной заводской готовности, с максимальным исключением из конструкции разъемных соединений.

Таким образом, наиболее перспективной является разработка установки со следующим техническим обликом: одноступенчатая, в моноблочном исполнении на базе малорасходного центробежного или поршневого компрессора, пластинчато-ребристых испарителя и конденсатора, на хладоне R134a.

Обоснование принципиальной газогидравлической схемы. При выборе принципиальной газогидравлической схемы установки рассмотрено два варианта: с регенеративным теплообменником (рис. 3, а); без регенеративного теплообменника (рис. 3, б).

Для сокращения необратимых потерь в ПКЦ от дросселирования необходимо обеспечить снижение температуры жидкого хладагента перед дросселирующим вентилем ниже температуры воздуха, охлаждающего конденсатор. Этого можно добиться путем регенерации теплоты.

В ПКЦ с регенеративным ТА (см. рис. 3, а) происходит доиспарение и дополнительный перегрев паров хладагента, поступающих на вход в компрессор, за счет теплоты, подводимой от жидкого хладагента. При этом жидкость переохлаждается до температуры, незначительно превышающей температуру охлаждающего воздуха, продуваемого

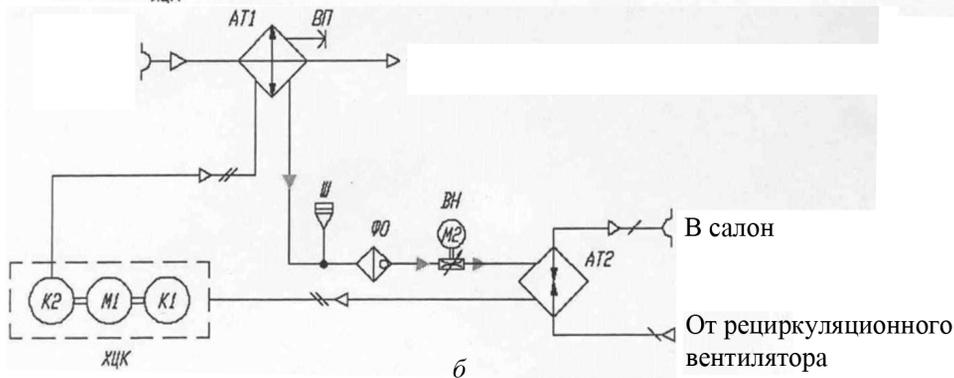
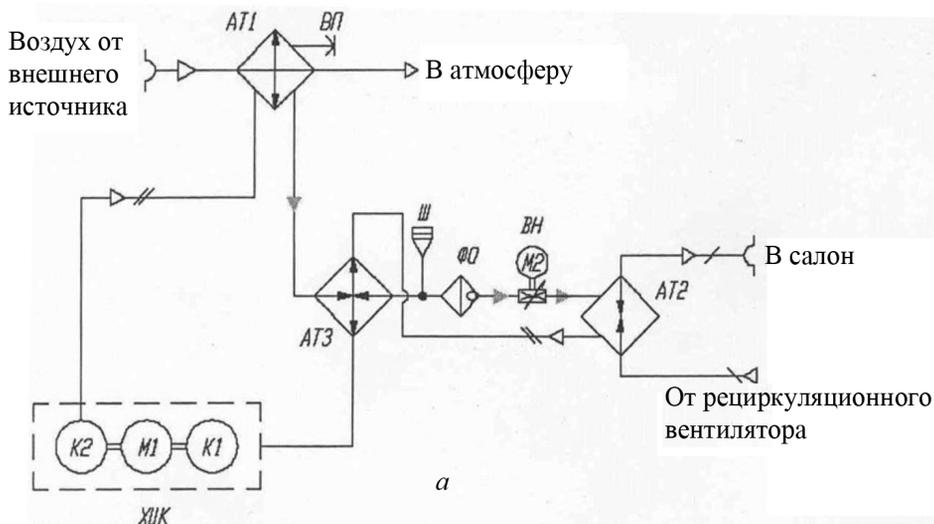


Рис. 3. Принципиальная газогидравлическая схема парокомпрессионного цикла холодильной установки с регенеративным ТА (а) и без него (б):

ХЦК — холодильный центробежный компрессор; K1, K2 — первая и вторая ступени сжатия; М1 — встроенный в компрессор приводной электродвигатель; АТ1 — конденсатор; ВП — плавкая вставка; АТ3 — регенеративный ТА; Ш — штуцер заправки хладагентом; ФО — фильтр-осушитель; ВН — регулирующий вентиль; АТ2 — испаритель

через конденсатор. Использование данного цикла особенно эффективно при высоких температурах охлаждающего воздуха, т.е. при высоких температурах конденсации.

В холодильном цикле без регенерации (см. рис. 3, б) доиспарение и дополнительный перегрев паров хладагента осуществляется в испарителе.

Сравнительный расчетный анализ двух вариантов ПКЦ с регенерацией и без, показал, что оба варианта рассмотренных схем имеют как свои преимущества, так и свои недостатки:

— использование в цикле регенеративного теплообменника приводит к увеличению холодильного коэффициента на 4...5% из-за снижения потребляемой мощности компрессора;

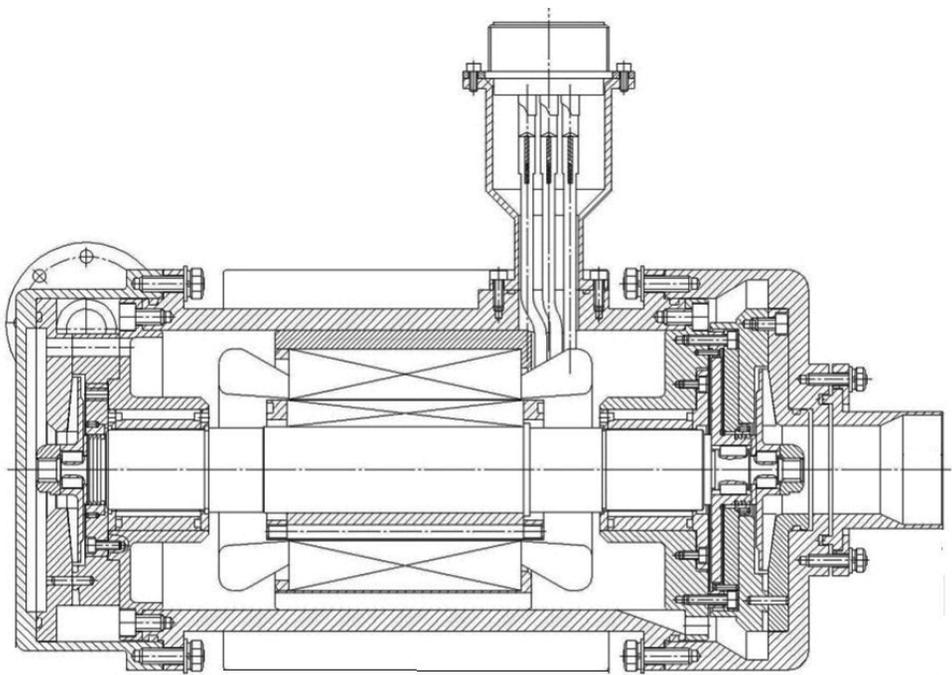


Рис. 5. Малорасходный хладоновый двухступенчатый центробежный компрессор

тор позволяет плавно регулировать частоту вращения приводного вала компрессора от нуля до номинального значения.

Особенность конструкции центробежного компрессора — применение радиальных и упорных лепестковых газодинамических подшипников (схема радиального подшипника с повышенной несущей способностью и повышенным демпфированием приведена на рис. 7). Это позволит увеличить ресурс компрессора до 100 000 пусков-остановов, повысить его надежность и увеличить межремонтный ресурс.

Особенность конструкции поршневого компрессора — это применение газостатического подвеса поршня. Такое конструктивное решение позволит получить существенные преимущества по сравнению с обычным поршневым холодильным компрессором, а именно:

- экономичность — на 5... 10 % повышается общий КПД компрессора (малые потери на трение в поршневой группе вследствие уменьшения коэффициента трения в 10^2 – 10^3 раз);
- малое загрязнение продуктами крекинга смазочного материала газового тракта установки, а также окружающей среды в разомкнутых технологических циклах, работающих на безвредных для окружающей среды газах;
- низкий уровень шума и вибраций;

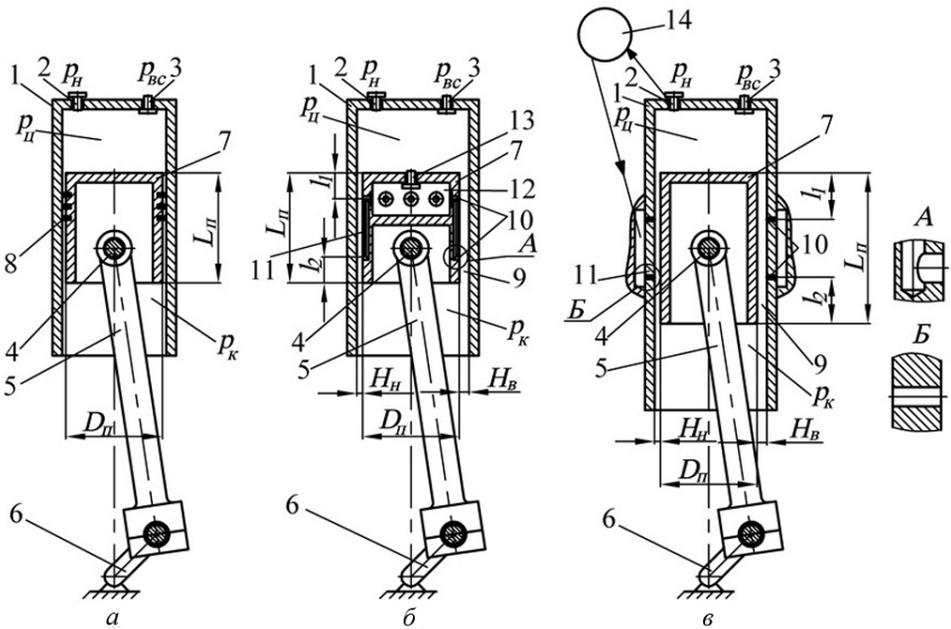


Рис. 6. Конструктивная схема поршневой группы бескрейцкопфного поршневого компрессора:

a — с тронковым поршнем и поршневыми кольцами; *б* — с тронковым поршнем и газовым подвесом с внутренним наддувом; *в* — с тронковым поршнем и газовым подвесом с наружным наддувом; 1 — цилиндр; 2 — нагнетательный клапан; 3 — всасывающий клапан; 4 — поршневой палец; 5 — шатун; 6 — кривошип коленчатого вала; 7 — поршень; 8 — поршневое кольцо; 9 — рабочий зазор; 10 — дроссели; 11 — каналы, сообщающие дроссели с источником газа для наддува (*б* — камерой, *в* — ресивером); 12 — камера в поршне; 13 — клапан в поршне; 14 — ресивер

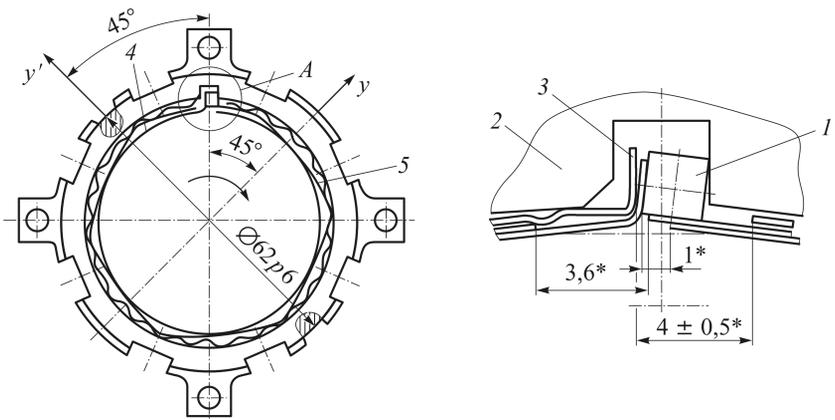


Рис. 7. Радиальный лепестковый газодинамический подшипник с повышенной несущей способностью и повышенным демпфированием:

1 — шпонка; 2 — корпус подшипника; 3 — демпфер; 4 и 5 — лепестки

- смазывание поршневой группы хладагентом, циркулирующим в технологическом цикле холодильной установки, где работает компрессор;
- снижение расхода жидкостной смазки (меньше смазывается поршневая группа);
- повышение надежности и ресурса (за счет устранения поршневых колец);
- возможность полного отказа от масла, что позволит решить проблему сочетаемости масел и хладагентов и упростит ретрофит (замену хладагента).

Газовый подвес (см. рис. 6, б, в) поршня 7 в цилиндре 1 может осуществляться либо за счет наддува технологического газа (например, хладона) через дроссели 10 в рабочий зазор 9 от постороннего источника сжатого газа (дополнительного баллона со сжатым газом), либо за счет наддува газа, отбираемого от этого же компрессора в процессе нагнетания. Система смазки шатунно-поршневой группы компрессора при газовом подвесе поршня может оставаться штатной — с масляной смазкой (как в компрессоре с поршневыми кольцами) и с меньшим количеством жидкой смазки (при использовании гибридных подшипников с телами качения из нитрида кремния) — или может быть вообще без жидкостной смазки (поршневой палец и кривошипная группа имеют подшипники качения с консистентной смазкой).

Теплообменные аппараты. К ТА, применяемым в авиационных СКВ, предъявляется ряд требований:

- максимальная интенсификация теплообмена (для снижения габаритных размеров в целях размещения в стесненных условиях ЛА);
- минимальные гидравлические потери (СКВ на самолете является вспомогательной системой, поэтому чем меньше энергии она забирает на свою работу от двигателя, тем более экономичным будет самолет или вертолет в целом);
- высокая компактность теплопередающей поверхности в единице объема (для обеспечения возможности размещения в стесненном внутреннем пространстве самолета);
- минимальная удельная масса (чем меньше масса вспомогательных систем, тем больше полезная нагрузка самолета и более рационален расход топлива);
- стабильность тепловых и гидравлических характеристик в процессе эксплуатации;
- высокая надежность в течение длительного времени работы;
- сохранение работоспособности при значительных динамических нагрузках и вибрациях;

— сохранение работоспособности в различных атмосферных условиях и агрессивных внешних средах.

Нетрудно заметить противоречивость, а порой и взаимоисключение перечисленных требований. Поэтому выбор оптимальной конструкции ТА в каждом конкретном случае индивидуален, требует сочетания комплекса указанных ограничений.

Наиболее полно отвечают требованиям к реализации эффективной теплопередачи с наименьшими значениями температурных напоров и гидродинамических сопротивлений во всех теплопередающих потоках в условиях ограниченных габаритных размеров и массы ТА пластинчато-ребристого типа.

Теплообменные аппараты пластинчато-ребристого типа обладают целым комплексом достоинств:

— высокая компактность и эффективность процессов теплопереноса;

— низкая металлоемкость и малая масса;

— высокие прочность и жесткость;

— высокая технологичность конструкции.

Исходя из всех изложенных соображений, для холодильной установки СКВ можно выбрать алюминиевые пластинчато-ребристые перекрестноточные аппараты: конденсатор и испаритель.

Регулирующий вентиль. Для реализации процесса дросселирования в парокompрессионной холодильной машине и одновременно регулирования степени заполнения испарителя хладагентом используются, как правило, три типа устройств [9, 10]:

1. Дроссельные устройства постоянного сечения (капиллярные трубки, дюзы, игольчатые клапаны).

2. Терморегулирующие двигатели манометрического типа.

3. Термоэлектрические вентили (ТЭВ).

Однако в доступной для изучения технической информации производителей ТЭВ отсутствуют данные о возможности использования вентиля в составе авиационного средства, в том числе данные о влиянии пространственной ориентации устройства на его работоспособность.

Возможным способом решения задачи является создание регулирующего вентиля на основе стандартного электропривода, используемого в авиации.

Блок управления предназначен для:

— включения (отключения) электроприводов установки в соответствии с заданным алгоритмом работы;

— автоматического поддержания заданного режима работы установки путем управления электроприводами;

- защиты установки от токов КЗ и перегрузки;
- измерения текущих значений параметров работы установки;
- защиты установки от аварийных режимов работы;
- диагностики технического состояния и обнаружения неисправностей установки до сменной единицы включительно;
- информационного обмена с линиями связи с блоками управления СКВ, а также с бортовыми информационными системами.

Электропитание должно осуществляться от бортовой сети ЛА.

Компоновка установки. При разработке необходимо обеспечить следующие основные требования, предъявляемые к СКВ на ЛА: минимальные габаритные размеры, жесткость конструкции, уменьшение длин соединительных трубопроводов холодильного контура, повышение герметичности за счет уменьшения числа разъемных соединений, возможность размещения на ЛА и компоновки в составе СКВ, снижение массы за счет использования конструктивных элементов из легких сплавов (АМг6, Д16 и пр.) и применения ТА с малой заправкой хладагентом.

Холодильная установка будет представлять собой моноблочную безрамную конструкцию, в которой все агрегаты, узлы и конструктивные элементы собраны в единую жесткую конструкцию, исключая взаимные перемещения.

Базовыми силовыми элементами будут конденсатор и испаритель, соединенные между собой в единую конструкцию посредством силовых кронштейнов, приваренных к торцевым несущим пластинам ТА. К внешним торцевым поверхностям ТА необходимо приварить проушины, которые можно будет использовать для перемещения и монтажа установки внутри ЛА. К ТА компрессор будет крепиться сверху с помощью силовых кронштейнов.

Дополнительная жесткость конструкции по отношению к осевым нагрузкам будет обеспечиваться за счет трубопроводов холодильного контура. Все соединительные трубопроводы необходимо выполнить из труб и фитингов из алюминиевого сплава, соединенных между собой сваркой.

Выводы. В рамках настоящей работы проведено исследование решений по СКВ легких самолетов и вертолетов, в том числе анализ существующих и перспективных отечественных и зарубежных СКВ легких самолетов и вертолетов; разработки вариантов структуры и состава; возможностей СКВ самолетов и вертолетов.

Анализ существующих решений показал, что для легких самолетов и вертолетов наиболее перспективно применение СКВ на основе ПКЦ.

Разработана схема бортовой холодильной установки на основе ПКЦ для применения в СКВ, проведен анализ характеристик возможных схем цикла, представлены возможные решения по ее конструктивному исполнению.

Предложено применить два варианта компрессоров — малорасходный центробежный фреоновый компрессор с лепестковыми газодинамическими опорами или поршневой бескрейцкопфный компрессор с газостатическим подвесом поршня. Эти компрессоры являются новыми в области авиастроения и весьма перспективными.

Такие решения по СКВ возможны для легких самолетов и вертолетов как с высотой полета 3–4 км, так и 6–9 км, а в перспективе и для больших по размеру и числу пассажиров ЛА. Также весьма перспективно применение пароконденсационных СКВ для охлаждения бортового радиоэлектронного оборудования ЛА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Российская газета. Столичный выпуск № 4877 от 27 марта 2009 г.
2. Проектирование авиационных систем кондиционирования воздуха: Учеб. пособие для студентов вузов / Н.В. Антонова, Л.Д. Дубровин, Е.Е. Егоров и др.; Под ред. Ю.М. Шустрова. – М.: Машиностроение, 2006. – 384 с.
3. Кудерко Д.А. Разработка и исследование систем кондиционирования воздуха маловысотного самолета с пароконденсационной холодильной машиной: Автореферат дисс... канд. техн. наук. – М., 1993. – 16 с.
4. Холодильные машины: Учебник для студентов вузов / А.В. Бараненко, Н.Н. Бухарин, В.И. Пекарев, И.А. Сакур, Л.С. Тимофеевский; Под общ. ред. Л.С. Тимофеевского. – СПб.: Политехника, 1997. – 992 с.
5. Тищенко И. В., Пешти Ю. В. Газовый подвес поршня в цилиндре холодильного компрессора // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2002. – Спец. вып. – С. 95–106.
6. Тищенко И. В., Пешти Ю. В. Анализ характеристик газового подвеса поршня в цилиндре холодильного компрессора // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2004. – Спец. вып. – С. 166–179.
7. Тищенко И. В., Пешти Ю. В. Динамическая неустойчивость газового подвеса поршня бескрейцкопфного холодильного компрессора // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. – 2010. – Спец. вып. – С. 191–202.
8. Тищенко И. В., Пешти Ю. В. Газовые подвесы поршней компрессоров. – Lambert Academic Publishing, 2011. – 218 с.
9. Пособие для ремонтника. Справочное руководство по монтажу, эксплуатации, обслуживанию и ремонту современного оборудования холодильных установок и систем кондиционирования / Патрик Котзаоглианин; Пер. с франц.; Под ред. В.Б. Сапожникова. – М.: Эдем, 2007. – 832 с.
10. Полевой А. А. Автоматизация холодильных установок и систем кондиционирования воздуха. – СПб.: Профессия, 2010. – 244 с.

Статья поступила в редакцию 27.06.2012