

УДК 697.911

## **Разновидность систем и методов охлаждения в СКВ летательных аппаратов**

***Д.В. Климов, студент***

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и  
жизнеобеспечения»*

*Научный руководитель: Ю.Д. Фролов, к.т.н., доцент*

*Россия, 105005, г. Москва, МГТУ им. Н.Э. Баумана,  
кафедра «Холодильная, криогенная техника, системы кондиционирования и  
жизнеобеспечения»*

[lavrov@power.bmstu.ru](mailto:lavrov@power.bmstu.ru)

### **Методы охлаждения летательных аппаратов (ЛА):**

- по способу охлаждения:

- системы охлаждения с воздушным циклом (воздушные СКВ ЛА)
- системы охлаждения с парокомпрессионным холодильным циклом (СКВ с ПКХМ – парокомпрессионными холодильными машинами)
- испарительные системы охлаждения (за счет открытого испарения рабочего вещества – вода, фреон, спирт)
- системы охлаждения за счет использования хладоресурса топлива
- системы термоэлектрического охлаждения
- радиационное охлаждение (на космических ЛА)
- смешанные циклы охлаждения

- по способу организации воздухообмена и теплообмена:

- Открытые и замкнутые
- Прямого и непрямого охлаждения (с промежуточным теплоносителем)

Рассмотрим наиболее распространенные системы охлаждения кондиционируемого воздуха.

### **СКВ с воздушными циклами охлаждения.**

Воздушные СКВ получили весьма широкое распространение благодаря своим хорошим положительным качествам:

1. Малые габариты и вес.

Так при холодопроизводительности  $Q_x=52$  кВт:

Система СКВ	Общий вес, кг	Потеря тяги, кг
Испарительная ПКХМ	416	2252
Воздушная	400	2540

2. Простота конструкции
3. Надежность в эксплуатации
4. Легкое восприятие переменных нагрузок (малоинертность)
5. Рабочее тело – атмосферный воздух

Главный недостаток (по сравнению с ПКХМ)

- значительный перерасход мощности (а следовательно уменьшение тяги двигателей и ухудшение летных характеристик)
  - растет общий расход топлива и уменьшается полезная нагрузка ЛА
- Так для военного самолета установка с воздушным циклом (по сравнению с ПКХМ) имеет в 2 раза меньший вес, в 1.4 раза занимает меньший объем, но требует в 2 раза больше потребляемой мощности (топлива и т.д).
- повышенные шумовые характеристики

Воздушные циклы охлаждения являются первыми из применяемых на ЛА. В этих циклах используется атмосферный воздух, нагнетаемый в кабину компрессором двигателя или автономным источником наддува.

Наиболее важным параметром любой СКВ являются давление и температура в кабине ЛА. Поэтому классификация циклов и систем охлаждения целесообразно построить по характеру изменения давления и температуры воздуха на пути его движения в кабину. Условимся называть ступенью повышения давления или просто «ступенью» какое-либо нагнетающее устройство (кроме диффузора), в котором происходит

повышения давления воздуха, движущегося в кабину. По аналогии условимся называть каскадом понижения температуры или просто «каскадом» какое-либо устройство, где температура воздуха, следуемого в кабину понижается.

### Классификация воздушных циклов охлаждения

#### I. Одноступенчатые воздушные циклы с одним, двумя и тремя каскадами охлаждения

1) Одноступенчатые однокаскадные схемы воздушных циклов.

В винтомоторных самолетах, имеющих небольшие скорости полета, для наддува кабин используется приводной центробежный нагнетатель, а для охлаждения воздуха – воздухо-воздушный теплообменник, в котором, воздух, поступающий в кабину, охлаждается воздухом встречного потока. Первая ступень повышения давления воздуха осуществляется в двигателе. Каскад охлаждения осуществляется в воздухо-воздушном теплообменнике (ВВТ) самолета. Следовательно, схема цикла, изображенная на рис. 1, относится к простейшей одноступенчатой однокаскадной системе. В настоящее время эта схема на летательных аппаратах встречается редко.

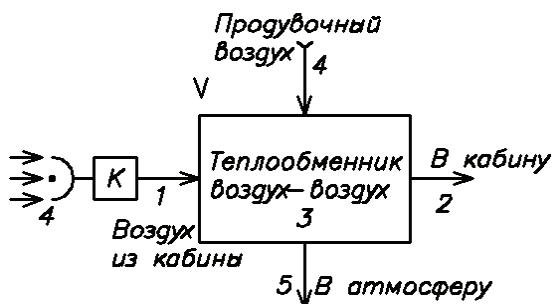


Рис. 1. Одноступенчатая однокаскадная воздушная система охлаждения.

1 – кабинный воздух, забираемый от компрессора двигателя; 2 – охлажденный кабинный воздух, движущийся в кабину; 3 – теплообменник; 4,5 – наружный воздух, поступающий от встречного потока и выбрасываемый в атмосферу

2) Одноступенчатые двухкаскадные схемы воздушных циклов (рис.2)

Схема, приведенная на рис. 2,а, состоит из теплообменника 3 и турбохолодильника 5 с вентилятором 7. Кабинный воздух после охлаждения в теплообменнике 3 поступает в турбохолодильник 5, где понижается его температура при расширении, и направляется в кабину. Продувочный воздух, пройдя теплообменник и нагнетатель (вентилятор), выбрасывается в атмосферу. Компрессор (КД), загружающий турбину, позволяет увеличить расход продувочного воздуха через теплообменник.

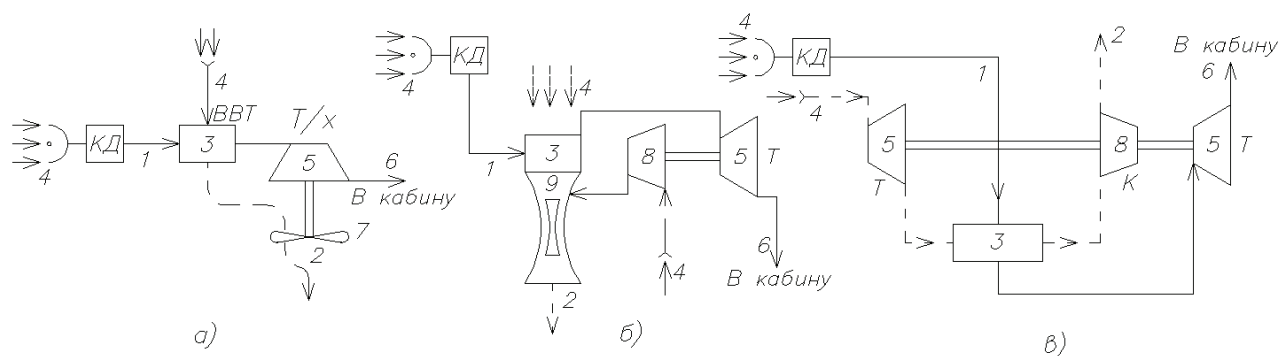


Рис. 2. Одноступенчатые двухкаскадные воздушные схемы охлаждения:

1 – кабинный воздух, поступающий от источника наддува; 2 – воздух, выбрасываемый в атмосферу; 3 – теплообменник; 4 – наружный воздух, поступающий в ВВТ от встречного потока; 5 – турбина расширения воздуха; 6 – охлажденный воздух, движущийся в кабину; 7 – вентилятор; 8 – нагнетатель; 9 – эжектор.

Схема, приведенная на рис. 2,б, отличается от предыдущей тем, что нагнетатель 8 турбоохладильника сжимает атмосферный воздух и направляет его в эжектор 9. Последний служит для того, чтобы подсасывать продувочный атмосферный воздух и направлять его через воздухо-воздушный теплообменник 3.

В схеме 2,в воздух, отбираемый от компрессора двигателя (КД), охлаждается в теплообменнике 3 воздухом встречного потока, предварительно охлажденным в турбоохладильнике 5 и подсасываемым компрессором 8.

### 3) Одноступенчатые трехкаскадные схемы воздушных циклов (рис. 3).

Воздух, выходящий в атмосферу из герметичной кабины (рис. 3,а) и имеющий температуру более низкую, чем заторможенный внешний поток, направляется в регенеративный теплообменник 6, в котором он охлаждает отбираемый от двигателя воздух и затем выбрасывается в атмосферу. В первом каскаде охлаждения, т.е. в теплообменнике, кабинный воздух охлаждается воздухом встречного потока. Последним третьим каскадом охлаждения кабинного воздуха является турбоохладильник 2.

На рис. 3,б воздух, поступающий в теплообменник 3 из кабины 5, предварительно смешивается с частью холодного кабинного воздуха, отводимого через клапан 8 за турбиной. В остальном эта схема не отличается от предыдущей.

Последние две схемы имеют следующие недостатки, ограничивающие их применение:



температура встречного потока заборного воздуха после расширения в аналогичных турбинах (см. рис. 2,в и 4,б). Однако мощность турбины, затрачиваемая на привод компрессора, будет больше, и компрессор создаст больший перепад давлений. Поэтому кабинный воздух хотя и имеет за теплообменником 3 более высокую температуру, чем в схеме 3,б, но в турбине 5 он может расширяться до более низкой температуры.

К основным недостаткам последней схемы (см. рис. 4,в) относятся большой расход отбираемого от двигателя воздуха и большие перепады в турбинах 2. Что касается динамических характеристик, то схема с наддувом, приведенная на рис. 4,в, имеет преимущества перед аналогичной схемой с поддувом, показанной на рис. 4,б, при относительно малых степенях сжатия воздуха в компрессоре двигателя. При больших степенях сжатия (порядка  $\epsilon_k=10$ ) схема с поддувом, выполненная по рис. 4,б, имеет лучшие высотные и скоростные данные при малых сверхзвуковых скоростях полета.

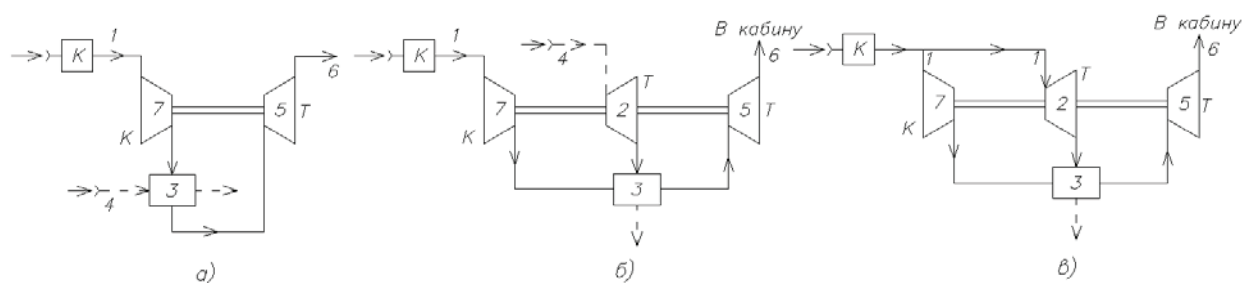


Рис. 4. Двухступенчатые двухкаскадные воздушные схемы охлаждения:

1 – кабинный воздух, поступающий от источника наддува; 2 и 5 – турбины расширения воздуха; 3 – теплообменник; 4 – наружный воздух, поступающий от встречного потока и выбрасываемый в атмосферу; 6 – охлажденный воздух, движущийся в кабину; 7 – компрессор турбин расширения.

## 2) Двухступенчатые трехкаскадные схемы воздушных циклов (рис.5).

Схема рис. 5,а отличается от схемы рис. 4,а наличием дополнительного каскада охлаждения (теплообменник 7); в остальном схемы одинаковы. Как видно из рисунка 5,а, кабинный воздух охлаждается воздухом встречного потока в двух теплообменниках 7 и 3, расположенных до и после компрессора турбохолодильника 2. Третьим каскадом охлаждения кабинного воздуха служит турбина 5. Эта схема воздушного цикла обеспечивает более низкую температуру воздуха, поступающего в кабину.

Схема рис. 5,б составлена из схем, изображенных на рис. 4,б и в. В этой схеме воздух, поступающий от двигателя летательного аппарата, охлаждается в теплообменнике 3, затем сжимается в компрессоре 2, являющимся тормозом турбин расширения 5, и снова охлаждается в теплообменнике 8 и в турбине 5. Кабинный воздух охлаждается в

теплообменниках наружным воздухом, предварительно охлажденным в турбине 5. При этом каabinный воздух на выходе из турбины имеет температуру ниже  $t_k$  и давление  $p_k$ .

Основными особенностями схемы с турбиной расширения, работающей на встречном потоке воздуха, является наличие вращающихся элементов и значительных аэродинамических сопротивлений в линии встречного потока, а также конструктивные и эксплуатационные затруднения, возникающие при использовании турбин расширения, т.е. сложность компоновки, возможность разрушения подшипников от высоких температур, необходимость в частой заправке маслом и т.д.

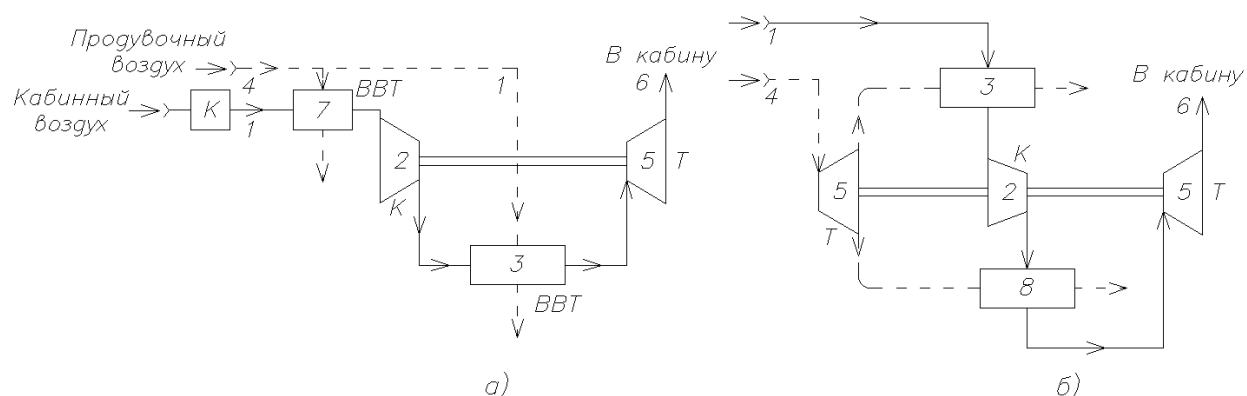


Рис. 5. Двухступенчатые трехкаскадные воздушные схемы охлаждения:

- 1 – каabinный воздух, поступающий от источника наддува; 2 - компрессор;
- 3, 7, 8 – теплообменники; 4 – наружный воздух, поступающий от встречного потока и выбрасываемый в атмосферу; 5 – турбина расширения каabinного воздуха;
- 6 – охлажденный воздух, движущийся в каabinу

Несмотря на широкий эксплуатационный диапазон по высоте и скорости полета, схемы с турбиной на встречном потоке воздуха не могут обеспечить требуемых температур с высокими скоростями полета (порядка  $M=3$ ) на больших высотах.

### III. Трехступенчатые воздушные циклы с тремя и четырьмя каскадами охлаждения

#### 1) Трехступенчатые трехкаскадные схемы воздушных циклов (рис. 6).

Отличаются от предыдущих схем большей высотностью, так как они обеспечивают большую степень сжатия воздуха. Каabinный воздух 1 после сжатия в компрессоре 7 и охлаждения в теплообменнике 8 снова сжимается в компрессоре 2, затем охлаждается в теплообменнике 3 и в турбине 5, после чего направляется в каabinу. В теплообменниках каabinный воздух охлаждается воздухом встречного потока 4.

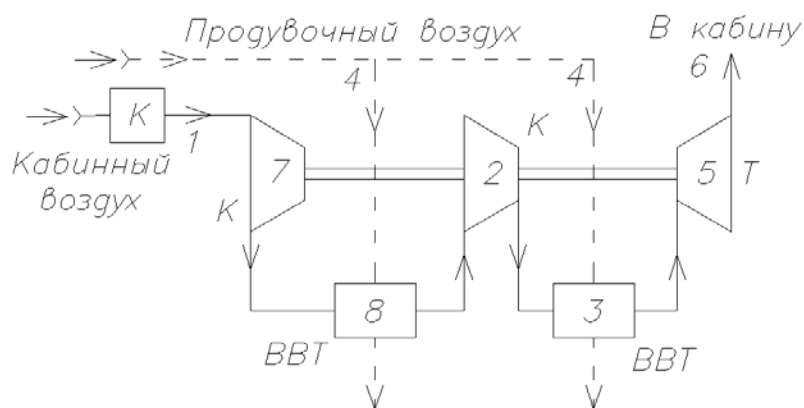


Рис. 6. Трехступенчатые трехкаскадные воздушные схемы охлаждения:

1 –abinный воздух, поступающий от источника наддува; 2,7 – компрессоры (тормоза) турбин расширения; 3, 8 – теплообменники; 4 – наружный воздух, поступающий от встречного потока и выбрасываемый в атмосферу; 5 – турбина расширения кабинного воздуха; 6 – охлажденный воздух, движущийся в кабину.

2) Трехступенчатые четырехкаскадная схема воздушных циклов (рис. 7).

Первым каскадом охлаждения кабинного воздуха является теплообменник 9, четвертым – турбина 5. Первая ступень давления получена в компрессоре двигателя, третья в компрессоре 2. После каждого повышения давления кабинный воздух охлаждается в теплообменниках воздухом встречного потока, а затем в турбине 5. Эта схема воздушного цикла, так же как и предыдущая, характеризуется большой высотностью и более глубоким охлаждением кабинного воздуха.

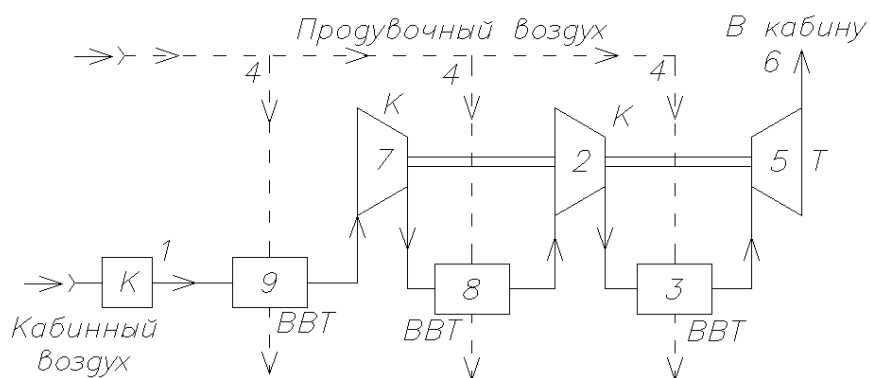


Рис. 7. Трехступенчатые трехкаскадные воздушные схемы охлаждения:

1 –abinный воздух, поступающий от источника наддува; 2,7 – компрессоры (тормоза) турбин расширения; 3, 8, 9 – теплообменники; 4 – наружный воздух, поступающий от встречного потока и выбрасываемый в атмосферу; 5 – турбина



расширения кабинного воздуха; 6 – охлажденный воздух, движущийся в кабину.

### Области применения схем охлаждения воздушных циклов

На рис. 8 приведены границы возможных областей применения различных схем охлаждения воздушного цикла в зависимости от высоты  $h$  и числа  $M$  полета для степени сжатия компрессора  $\varepsilon_k=10$ . Как видно из приведенного графика, схема охлаждения (кривая 1), соответствующая рис 1-2а имеет ограниченную область применения.

Более широкие области характерны для других схем. Кривые 2,3,4,5 соответствуют схемам на рисунках 4,б, 5, 6, 7.

Высотные и скоростные характеристики, приведенные на рис.4 получены при следующих допущениях: КПД компрессора – 0.6, КПД турбины – 0.7, КПД теплообменника – 0.8, температура воздуха на входе в кабину  $T_k=283K$ , коэффициент восстановления скоростного напора в воздухозаборнике принят по усредненным экспериментальным данным NASA, окружающие условия по высоте МСА, потери давления в трубопроводе отбора воздуха от двигателя составляют 15% давления в точке отбора, потери давления в каждом из теплообменников равны 10%, отношение потерь давления в трубопроводе между ткрбохолодильником и кабиной к давлению на выходе из турбины 5%.

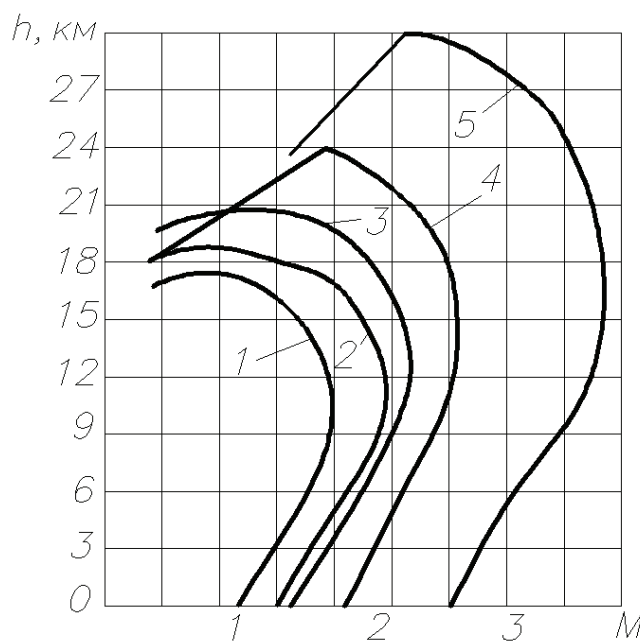


Рис. 4. Области применения схем охлаждения воздушных циклов

### Список литературы

1. Воронин Г.И. Системы кондиционирования воздуха на летательных аппаратах.

Москва. Машиностроение, 1973. 444 с.

2. Суслов А.Д., Фролов Ю.Д. Основы теории систем кондиционирования летательных аппаратов. Учебное пособие. Издательство МГТУ, 1994 г. 77с.
3. Болховитинов В.Ф. Пути развития летательных аппаратов. Москва. Оборонгиз 1962. 132 с.