



Модуль 2.

Система кондиционирования воздуха самолетов

Ту-204 и МС-21

На этом уроке

1. Познакомимся с особенностями устройства системы кондиционирования воздуха самолетов Ту-204 и МС-21
2. Изучим принцип работы системы кондиционирования и ее элементов
3. Подробно рассмотрим принципиальную схему СКВ Ту-204, конструкцию узла предварительного охлаждения и принцип его работы

Тематическое содержание

Устройство СКВ самолетов Ту-204, МС-21	2
Назначение системы кондиционирования воздуха	2
Устройство узла предварительного охлаждения	3
Устройство турбохолодильной установки	4
Устройство конденсаторного блока	4
Особенности конструкции моноблока СКВ	5
Принцип работы СКВ самолетов Ту-204, МС-21	5
Принцип работы продувочного тракта	5
Принцип работы источника сжатого воздуха	6
Принцип работы узла предварительного охлаждения	6
Принцип работы конденсаторного блока	7
Принципиальная схема СКВ ТУ-204	8
Конструкция основного узла охлаждения СКВ	13
Особенности работы основного узла охлаждения	15

Устройство СКВ самолетов Ту-204, МС-21

Назначение системы кондиционирования воздуха

На всех современных СКВ применяется фактически одна принципиальная схема. В основе этого лежит высокая эффективность и экономичность работы. Данные качества обусловлены следующими особенностями:

- снижением давления воздуха от компрессора двигателя с 5 до 3 атмосфер, т.е. переход на более дешевый сжатый воздух от компрессора двигателя;

- внедрением конденсаторного блока с целью возможности работы как на сухом, так и влажном воздухе, кроме того это позволяет дополнительно – снизить температуру воздуха на выходе СКВ до значения $-8 \dots -10 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- снижением расхода воздуха, отбираемого от компрессора двигателя в 2 раза за счет внедрения конденсаторного блока и введения дополнительной линии рециркуляции воздуха из гермокабины, который до этого просто сбрасывался в атмосферу;
- использованием более совершенной универсальной трехколесной турбохолодильной установки вместо применяемых ранее двухколесных;
- внедрением специальной моноблочной конструкции основного блока охлаждения СКВ, позволяющего снизить материальные и эксплуатационные затраты.

На схеме на примере СКВ Ту-204 представлены все элементы блока основного охлаждения СКВ: узел предварительного охлаждения, турбохолодильная установка, конденсаторный блок.

Устройство узла предварительного охлаждения

Узел предварительного охлаждения предназначен для охлаждения воздуха высокого давления от компрессора двигателя до температур, приемлемых для работы конденсаторного блока (рис. 1).

Узел состоит из двух теплообменников: первичного и основного для охлаждения сжатого воздуха от компрессора двигателя, а также продувочного тракта. В нем установлен вентилятор ТХУ для принудительной продувки обоих теплообменников охлаждающим забортным воздухом, в особенности на режимах стоянки и руления. Кроме того в узле предусмотрена противообледенительная линия для предотвращения обмерзания конденсатора.

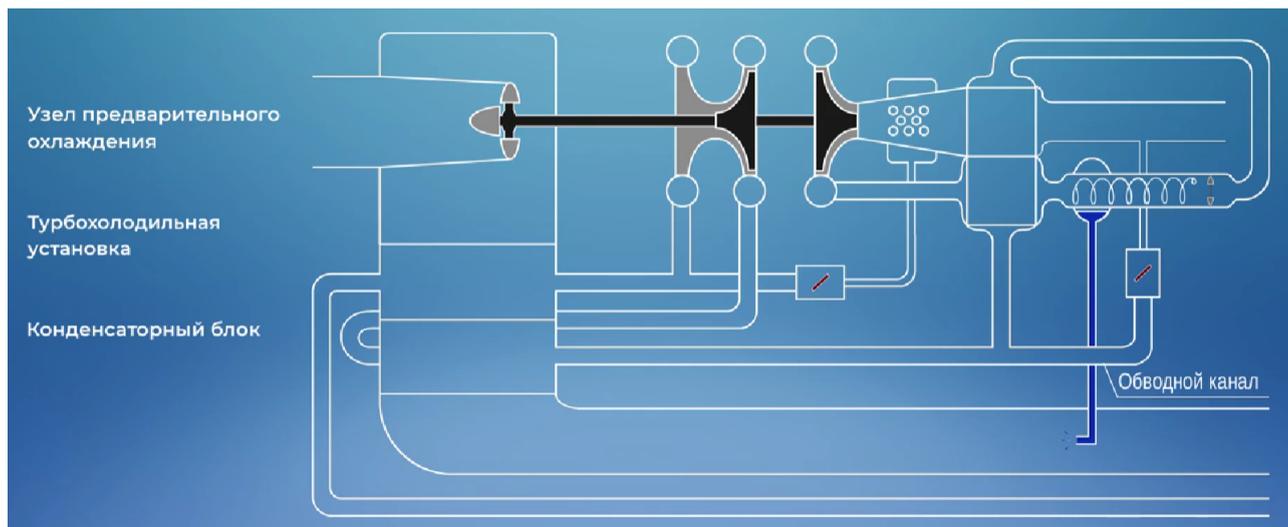


Рис 1. Схема СКВ самолетов Ту-204, МС-21

Устройство турбохолодильной установки

ТХУ предназначена для получения холодного воздуха на выходе СКВ и привода в движение воздуха во всех узлах и элементах моноблока СКВ.

ТХУ состоит из трех основных элементов: турбины – для охлаждения воздуха, а также приведения в действие двух потребителей: компрессора, используемого для сжатия воздуха в СКВ и вентилятора – для прокачки забортного воздуха в продувочном тракте узла предварительного охлаждения.

Устройство конденсаторного блока

Конденсаторный блок предназначен для охлаждения сжатого воздуха, поступающего из узла предварительного охлаждения до температур, приемлемых для конденсации водяных паров из влажного воздуха.

Блок состоит из трех элементов: конденсатора для конденсации водяных паров, регенератора – для подогрева сжатого воздуха с целью испарения неуправляемой капельной влаги, а также влагоотделителя – для отделения от воздуха капельной жидкости, полученной на выходе конденсатора.

В СКВ предусмотрен также обводной канал, позволяющий с помощью автоматики пропускать часть воздуха минуя ТХУ и конденсаторный блок на режимах с низкими температурами забортного воздуха.

Особенности конструкции моноблока СКВ

В заключение стоит отметить особенности компоновки схемы моноблока СКВ для разных самолетов. На самолетах Ту-204 и МС-21 применена схема с верхним расположением ТХУ и конденсаторного блока, а также использованием одноходового варианта первичного и основного теплообменников. Это типичная компоновка фирмы Боинг.

На самолете Суперджет 100 применена схема с нижним расположением ТХУ и конденсаторного блока, а также использованием двухходового основного теплообменника. Это фирменная компоновка консорциума Аэробас.

В остальной схеме практически одинаковы.

Принцип работы СКВ самолетов Ту-204, МС-21

Рассмотрим принцип работы СКВ самолетов Ту-204 и МС-21 на примере его основных элементов: узла предварительного охлаждения, турбохолодильной установки, конденсаторного блока.

Принцип работы продувочного тракта

На вход продувочного тракта узла предварительного охлаждения поступает атмосферный забортный воздух с параметрами: давление в диапазоне 0,25 ... 1,0 атмосферы в зависимости от высоты полета; температура -50 ... +50 °С в зависимости от времени года на Земле, а также значения температуры на разной высоте полета.

После продувки сначала основного, а потом первичного теплообменников нагретый забортный воздух сбрасывается обратно в атмосферу. Для этого используется вспомогательный элемент – вентилятор ТХУ, который прокачивает продувочный тракт на режимах стоянки и руления. На выходе тракта температура продувочного воздуха может достигать +100 °С и более градусов.

Принцип работы источника сжатого воздуха

Компрессор двигателя с помощью автоматики формирует требуемые параметры сжатого воздуха на выходе: давление 3 атмосферы, температуру +200 °С. После этого сжатый воздух подается на первичный теплообменник узла предварительного охлаждения (рис. 2).

Одновременно предусмотрен отбор небольшого количества горячего воздуха в специальную противообледенительную линию конденсатора СКВ.

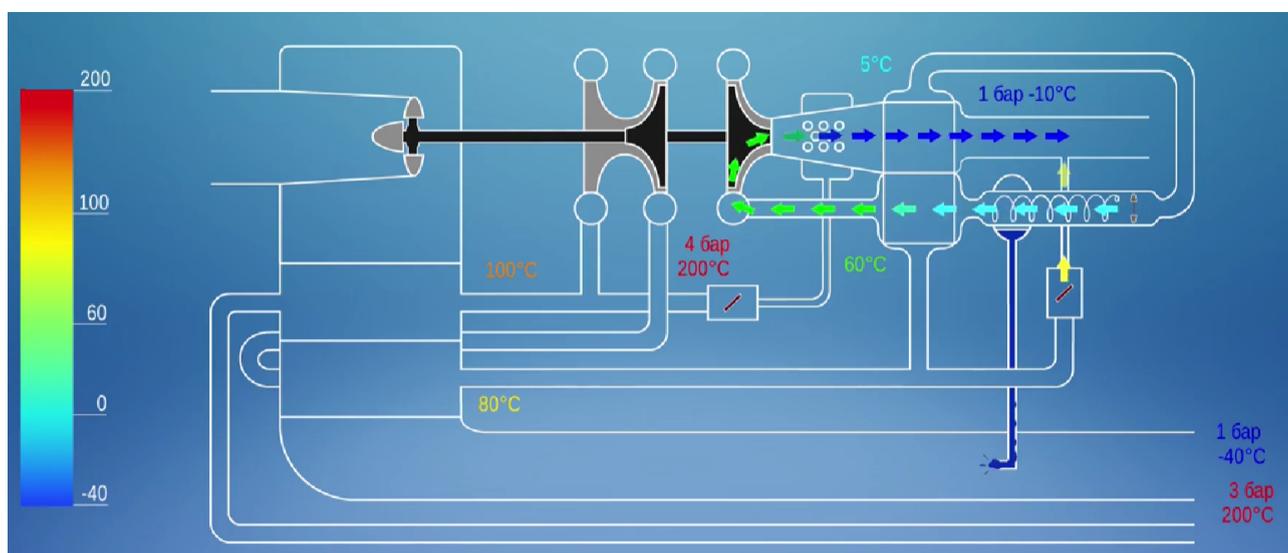


Рис 2. Принцип работы СКВ самолетов Ту-204, МС-21

Принцип работы узла предварительного охлаждения

В результате охлаждения сжатого воздуха в первичном теплообменнике его температура снижается до требуемых +100 °С и он поступает в компрессор ТХУ. В нем давление увеличивается до 4 атмосфер, требуемых для работы турбины ТХУ, однако при этом происходит рост температуры до +150 ... +200 °С.

С целью отвода теплоты, полученной в компрессоре ТХУ, сжатый воздух подается в основной теплообменник. После охлаждения температура воздуха снижается до диапазона +80 ... +100 °С, требуемого для работы конденсаторного блока.

Одновременно предусмотрен отбор части горячего воздуха в специальный обводной канал конденсаторного блока, на случай работы в условиях холодного забортного воздуха.

Принцип работы конденсаторного блока

Первоначально сжатый воздух поступает в горячий тракт регенератора, где его температура снижается до значений $+40 \dots +50$ °С. Затем воздух поступает в горячий тракт конденсатора для окончательного охлаждения. После него температура снижается до диапазона $+5 \dots +10$ °С, необходимого для конденсации водяных паров из влажного воздуха и препятствующего замерзанию воды.

Далее воздух с конденсированной водой поступает во влагоотделитель высокого давления, где производится механическое отделение конденсата от сжатого воздуха за счет действия центробежных сил. Из влагоотделителя вода через специальную трубку поступает во входной воздухозаборник узла предварительного охлаждения, где распыляется на капли.

После отделения воды сжатый воздух поступает в холодный тракт регенератора, где его температура увеличивается до диапазона $+50 \dots +60$ °С с целью испарения не отделившихся мелких капель.

Из регенератора сжатый воздух поступает на турбину ТХУ, где происходит снижение давления с 4 до 1 атмосферы. При этом одновременно температура воздуха уменьшается до минимальных значений в СКВ $-30 \dots -40$ °С, требуемых для нормальной работы конденсатора.

Продувая холодный тракт конденсатора, воздух атмосферного давления нагревается до диапазона $-8 \dots -10$ °С, требуемого на выходе моноблока СКВ. При этом в горячем тракте конденсатора производится охлаждение сжатого воздуха до температуры точки росы $+5 \dots +10$ °С, приводящего к получению конденсата воды.

В случае обледенения холодного тракта конденсатора открывается клапан противообледенительной системы и горячий воздух очищает от льда теплообменную секцию конденсатора.

Принципиальная схема СКВ ТУ-204

Система кондиционирования воздуха самолета Ту-204 разработана НПО “Наука” и впервые в отечественной гражданской авиации реализует отделение влаги на высоком давлении (“петля”). Второй отличительной чертой служит универсальный блочный характер: изготавливается в виде моноблока основного узла охлаждения СКВ, устанавливаемого на семействе самолетов ТУ-204, ТУ-214, ТУ-334.

Принципиальная схема состоит из трех функциональных узлов (рис. 3): подсистемы отбора ВВД, блока установки охлаждения (петлевого типа), подсистемы распределения и регулирования воздуха в салоны. На самолётах ТУ-204, ТУ-214 установлены две идентичные СКВ (по одной на двигатель) и поэтому первые два узла дублированы. На самолете ТУ-334 имеется одна линия СКВ.

Узел отбора ВВД от двигателя. Отбор воздуха от компрессора маршевого двигателя и стабилизация его параметров по давлению и температуре осуществляются подсистемой отбора и предварительной подготовки воздуха, расположенной непосредственно на внешней поверхности двигателя.

Основная ступень отбора. На всех основных режимах полета воздух отбирается от фланца 7-й ступени компрессора высокого давления. В корпусе фланца встроен обратный клапан грибкового типа, предотвращающий перетекание воздуха в двигатель через 7-ю ступень при отборе от последней 13-й ступени. Далее воздух поступает на нормально открытый пневматический регулятор 2 избыточного давления, поддерживающий за собой давление 320 кПа. Этим же регулятором производится штатное включение и выключение отбора воздуха.

Вспомогательная ступень отбора. На малых режимах работы двигателя (при планировании самолета) отбор производится от 13-й ступени компрессора. При этом воздух забирается через пневматический регулятор избыточного давления 1 (нормально закрытый), поддерживающий за собой давление 280 кПа, и далее поступает по трубопроводу с шаровыми соединениями к выходному регулятору 2. Оба регулятора избыточного давления имеют аварийные пневматические силовые

приводы, перекрывающие отбор воздуха при отказах регуляторов или повышении температуры на выходе систем отбора за теплообменником 3 выше +250 °С.

Двухступенчатый отбор позволяет обеспечить стабильную подачу воздуха в салоны на всех этапах полета, в том числе при снижении на малом газе.

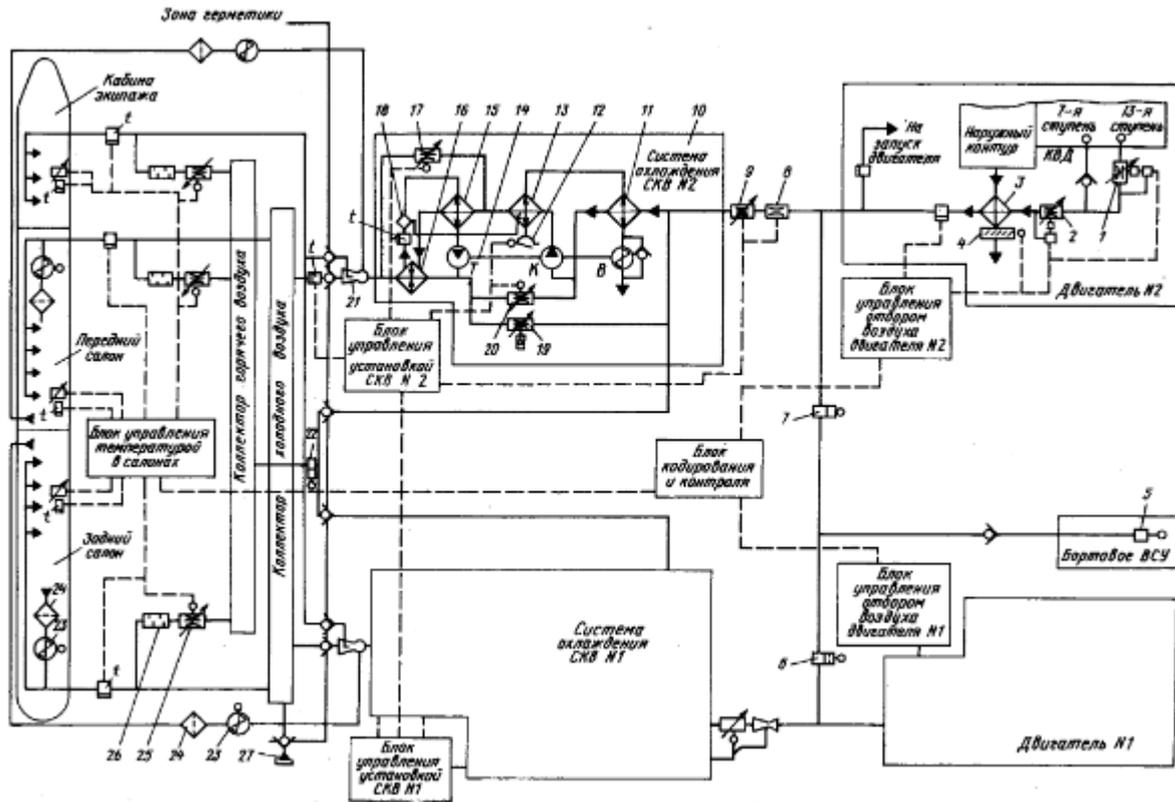


Рис. 3. Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха самолета

Ту-204:

1,2 – регуляторы избыточного давления; 3 – предварительный ВВТ; 4 – жалюзийная заслонка; 5 – заслонка включения отбора воздуха от ВСУ; 6, 7 – краны кольцевания; 8 – датчик расхода воздуха; 9 – регулятор расхода; 10 – блок охлаждения; II – первичный ВВТ; 12 – регулируемый воздухозаборник; 13 – вторичный ВВТ; 14 – трехколесный турбохолодильник (т – турбина, к – компрессор, в – вентилятор); 15 – перегреватель; 16 – конденсатор; 17, 19, 20, 25 – регулирующие заслонки; 18 – щелевой влагоотделитель; 21 – эжектор-смеситель; 22 – кран подачи горячего воздуха; 23 – рециркуляционные вентиляторы; 24 – двухступенчатые фильтры; 26 – глушители шума; 27 – штуцер подключения наземного кондиционера

Система предварительного охлаждения. Предварительное охлаждение воздуха до температуры $+200^{\circ}\text{C}$ осуществляется в теплообменнике 3, установленном в окне обечайки внешнего контура двигателя. Продувка этого предварительного (первичного) теплообменника СКВ производится воздухом вентиляторного контура, забираемого от первых ступеней вентилятора двигателя самолета. Регулирование температуры воздуха производится с помощью жалюзийной заслонки 4, установленной на выходе теплообменника.

Основной узел охлаждения. Установки охлаждения 10 (рис. 4) выполнены в виде моноблоков (рис. 5) и осуществляют дальнейшее охлаждение воздуха. Они обеспечивают подачу в расчёте на одного пассажира 15 кг/ч исходного “свежего” воздуха от двигателя самолета. Отличительными чертами установок являются использование трехколесной турбохолодильной машины и схемы отделения влаги в линии высокого давления, позволившие поднять на 50 % холодопроизводительность СКВ в целом по сравнению с традиционными схемами.

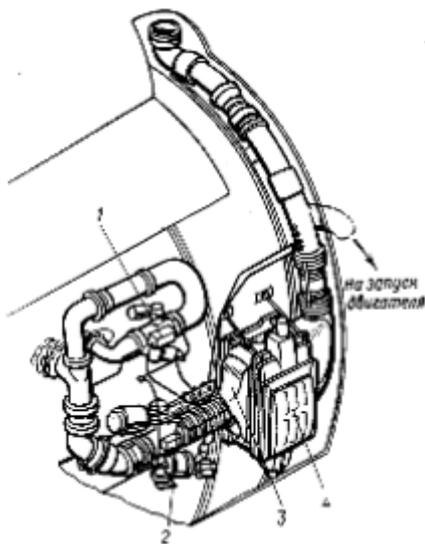


Рис. 4. Схема монтажа системы отбора и предварительной подготовки воздуха: 1, 2 - регуляторы избыточного давления, 3 - предварительный (ПТО), 4 - жалюзийная заслонка



Рис. 5. Общий вид блока охлаждения СКВ Ту-204

Контур первичного охлаждения (см. рис. 3). Воздух через регулятор расхода 9 подается на первичный теплообменник 11 и охлаждается в нем до температуры $+150^{\circ}\text{C}$, затем поступает в компрессор 14к, служащий основным тормозом турбохолодильной машины. Нагретый в компрессоре 14к воздух охлаждается в основном (вторичном) противоточном теплообменнике 13. Поток охлаждающего воздуха через первичный и вторичный теплообменники на стоянке создается вентилятором 14в трехколесной машины, а в полете – скоростным напором.

Контур отделения влаги на высоком давлении (“петля”). Охлажденный в теплообменнике 13 воздух подается в контур отделения влаги, включающий конденсатор 16, влагоотделитель 18, перегреватель (регенератор) 15 и турбохолодильник 14. В конденсаторе 16 воздух высокого давления охлаждается воздухом, поступающим с выхода турбины 14л. Конденсирующаяся при этом влага отделяется из ВВД в щелевом влагоотделителе 18. В перегревателе 15 производится подогрев ВВД и испарение влаги, оставшейся в потоке после влагоотделителя 18. Подогрев регенератора 15 осуществляется воздухом с более высокой температурой, выходящим из теплообменника 13. Отделившаяся влага впрыскивается в охлаждающий воздух перед теплообменником 13.

Окончательное охлаждение воздуха происходит при его расширении на турбине 14т. Мощность турбины отводится компрессором и вентилятором в соотношении 4:1. Вал турбохолодильной машины вращается в газовых опорах с частотой до 40 000 об/мин.

Система автоматического регулирования параметров. Поддержание заданной температуры на входе в компрессор 14к обеспечивается изменением расхода охлаждающего воздуха через теплообменники установки охлаждения с помощью регулируемого воздухозаборника 12.

Регулирование температуры воздуха на выходе из установки осуществляется перепуском горячего воздуха со входа в компрессор или из-за первичного теплообменника 11 на выход с помощью перепускных заслонок 17 и 20.

Противообледенительная система конденсатора. Пневматический перепускной клапан 19 обеспечивает подачу горячего воздуха на вход конденсатора 16 при повышении его гидравлического сопротивления в случае замерзания влаги на входном фронте и трубках конденсатора.

Узел рециркуляции кабинного воздуха. Предназначен для “вторичного использования” (рециркуляции) части очищенного кабинного воздуха из расчета 15 кг/ч кабинного воздуха на одного пассажира. Величина суммарного расхода 30 кг/ч выбрана из условия выполнения требований по поддержанию необходимого газового состава воздуха в салонах. Непосредственно на выходе из установок охлаждения расположены узлы эжектора-смесителя 21 для смешения рециркуляционного воздуха со “свежим” воздухом, выходящим из установки и имеющем температуру $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Смешение потоков обеспечивает повышение температуры смеси до $+2\text{ } \dots\text{ } +3\text{ }^{\circ}\text{C}$ в режиме максимального охлаждения на земле. По центральному трубопроводу свежий воздух подается в кабину экипажа. Рециркуляционный воздух забирается из салонов вентиляторами 23, проходит через двухступенчатые фильтры 24 и подается к эжектору-смесителю 21. Соотношение расходов свежего и рециркуляционного воздуха 1:1, и общая подача воздуха в кабину составляет 30 кг/ч на одного пассажира.

Подсистема распределения и регулирования воздуха в салоны. С выхода эжекторов-смесителей 21 поток поступает в коллектор холодного воздуха, а из него

подается к распределительным коробам переднего и заднего салонов. Регулирование температуры, осуществляемое отдельно для кабины экипажа, переднего и заднего салонов, производится подмешиванием к холодному потоку горячего воздуха из специального коллектора с помощью заслонок 25 с управляемым электроприводом.

Конструкция основного узла охлаждения СКВ

1. Общие сведения. Установка охлаждения воздуха (УОВ) Ту-204 (далее по тексту - установка) предназначена для создания необходимых параметров воздуха (по температуре и влажности), подаваемого в герметическую кабину объекта. Установка выполнена в виде единого блока, входит в систему кондиционирования воздуха самолета Ту-204 и самостоятельного применения не имеет. На самолете имеются две установки охлаждения, размещенные в негерметичном отсеке. В случае выхода из строя одного из входящих в блок агрегатов установка целиком снимается с самолета и заменяется другой. Установка нормально функционирует при эксплуатации в условиях как сухого, так и влажного тропического климата.

2. Основные технические данные. Рабочее тело - воздух, отбираемый от компрессоров двигателей и прошедший предварительную обработку в подсистеме отбора и предварительного охлаждения. **Охлаждающая среда** - атмосферный воздух, подаваемый в установку от заборника скоростного напора.

Основные расчетные режимы установки: 1 – наземный, 2 – основной крейсерский, 3 – крейсерский. Параметры установки на основных расчётных режимах представлены в табл. 1.

Максимальные параметры рабочего воздуха на входе в установку: давление 390 кПа (3,97 кгс/см²), температура 473 К (+200 °С), расход 0,889 кг/с (3200 кг/ч). Предельные параметры рабочего воздуха на входе в установку при отказах изделий системы подготовки воздуха: давление 685 кПа (7 кгс/см²), температура 523 К (+250 °С). После работы или отказа на этом режиме допускается замена установки.

Таблица 1

Параметры установки на основных расчётных режимах

Наименование параметра	Режимы		
	1	2	3
Абсолютное давление торможения рабочего воздуха на входе в установку, кПа (кгс/см ²)	325±4,9 (3,31±0,05)	247, 5±4, 9 (2,52±0,05)	186,2±4,9 (1,9±0,05)
Температура рабочего воздуха на входе в установку, К (°С) •	473±10 (200±10)	453±10 (180±10)	453±10 (180±10)
Расход рабочего воздуха на выходе из установки, кг/с (кг/ч)	0,695±0,028 (2500±100)	0,695±0,028 (2500±100)	0,9±0,028 (3200±100)
Абсолютное давление рабочего воздуха на выходе из установки, кПа (кгс/см)	106,5±0,98 (1,086±0,01)	85±0,98 (0,867±0,01)	85±0,98 (0,867±0,01)
Температура рабочего воздуха на выходе из установки, °С:			
- при полностью закрытых обводных заслонках 8 и 25, не более	-8	-	-
- при полностью закрытой обводной заслонке 25, не более	-	8	20
- при открытой заслонке 25, не менее	-	80	80

Максимальное давление рабочего воздуха на выходе из установки (при отказе системы автоматического регулирования температуры и запорно-регулирующего устройства - не выше 150 кПа (1,5 кгс/см²).

Суммарная утечка воздуха из установки, определяемая в нерабочем состоянии при избыточном давлении воздуха 49 кПа (0,5 кгс/см²) и температуре (20±10) °С - не более 0,015 кг/с

Максимальное время непрерывной работы установки на объекте 9 ч.

Масса установки не более 107,5 кг.

Особенности работы основного узла охлаждения

Принципиальная схема установки представлена на рис. 6.

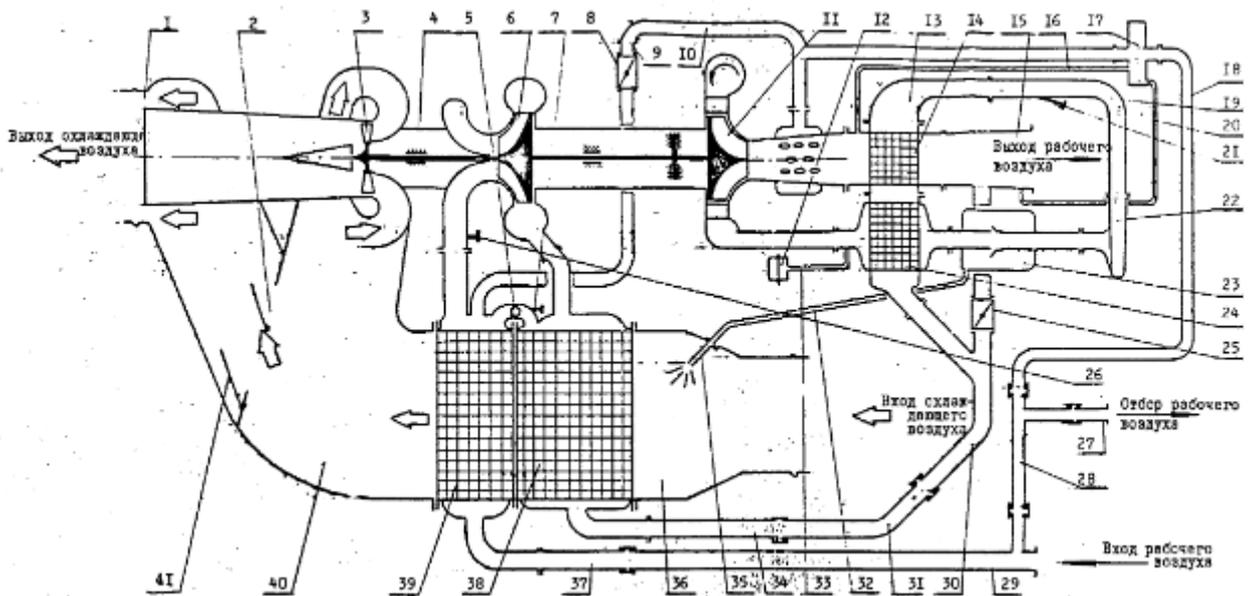


Рис. 6. Принципиальная схема блока охлаждения СКВ Ту-204:

1 - кольцевая щель; 2 – окно, 3 - вентилятор; 4 - турбохолодильник; 5 - клапан обратный; 6 - компрессор, 7 - датчик температуры двухканальный, 8 - заслонка запорно-регулирующая; 9 - патрубок; 10 - тройник; 11 - турбина; 12 - измерительный комплекс давления; 13 - крышка; 14 - теплообменник воздухо-воздушный; 15 - выходной тройник; 16 - трубопровод; 17 - устройство перепускное; 18 - колено, 19 - колено, 20 - трубопровод; 21 - датчик температуры двухканальный; 22 - улитка; 23 - влагоотделитель щелевой; 24 - теплообменник воздухо-воздушный; 25 - заслонка запорно-регулирующая; 26 - датчик температуры двухканальный; 27 - патрубок; 28 - тройник; 29 - входной тройник; 30 - тройник; 31 - колено; 32 - трубопровод; 33 - трубопровод; 34 - патрубок; 35 - ороситель; 36 - патрубок входной; 37 - патрубок; 38 - теплообменник воздухо-воздушный; 39 - теплообменник воздухо-воздушный; 40 - коллектор; 41 - заслонка

Узел предварительного охлаждения. Рабочий воздух, отобранный от компрессоров двигателей и прошедший предварительную обработку в подсистеме отбора и предварительного охлаждения, по входному тройнику 29 и патрубку 37

поступает в теплообменник 39, откуда подается на вход в компрессор 6. Сжатый в компрессоре воздух поступает в теплообменник 38. В теплообменниках 38 и 39 рабочий воздух охлаждается заборным воздухом, поступающим из автономного воздухозаборника 36.

Контур отделения влаги на высоком давлении (“петля”). После теплообменника 38 рабочий воздух по патрубку 34, колену 31 и тройнику 30 проходит для осушки по петле подготовки воздуха перед турбиной 11: направляется в теплообменник 24, где его температура понижается. а затем - в теплообменник-конденсатор 14, в котором рабочий воздух охлаждается ниже точки росы выходящим из турбины 11 холодным потоком.

Пройдя крышку 13, воздушный поток подается по колену 19 в служащую предварительной ступенью влагоотделителя улитку 22 и поступает во влагоотделитель щелевой 23, где из него выпадает влага. Пройдя продувочный контур теплообменника-регенератора 24, рабочий воздух поступает для дальнейшего охлаждения на рабочее колесо турбины 11. Выходящий из турбины воздух с отрицательной температурой направляется в продувочный тракт теплообменника-конденсатора 14, где подогревается до рабочей температуры +10 °С. Далее воздух выходит из установки охлаждения и направляется на эжектор-смеситель СКВ Ту-204.

Блок управления параметрами установки. Положения заслонок 8 и 25 (степень открытия) регулируются по поступающим в блок управления сигналам с измерительного комплекса давления 12, соединенного трубопроводом 33 с входом в турбину 11, и с датчиков температуры двухканальных 7, 26 и 21, установленных соответственно на входе в основной теплообменник 38, после предварительного теплообменника 39 (на входе в компрессор 6) и в колене 19 за теплообменником-конденсатором 14.

Продувочный тракт установки охлаждения. Охлаждающий воздух, поступающий в воздухозаборник из атмосферы, прокачивается вентилятором 3 турбохолодильника 4 последовательно через патрубок входной 36, продувочные контуры основного и предварительного теплообменников 38 и 39 и коллектор 40. В коллекторе 40 при высоком скоростном напоре поток охлаждающего воздуха

может проходить, минуя вентилятор 3, через окно 2, которое открывается с помощью заслонки 41, и кольцевую щель 1, создавая дополнительный подсос в выходном патрубке вентилятора 3, после чего выбрасывается в атмосферу.

Сконденсировавшаяся в процессе охлаждения воздуха влага удаляется из влагоотделителя щелевого 23 по трубопроводу 32 и с помощью оросителя 35, встроенного в патрубок входной 36, впрыскивается на вход в продувочный контур основного теплообменника 38 для повышения эффективности охлаждения рабочего потока воздуха.