

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ



УДК 629.7

Применение предварительного охлаждения воздушных масс в системе кондиционирования воздуха самолета

Ю.С. Попова, Е.В. Малая

Донской государственной технической университет, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Аннотация

В статье рассматриваются методы и технические решения предварительного охлаждения воздуха в системах кондиционирования воздушных судов (СКВ). Описаны энергетические, экологические и эксплуатационные преимущества технологий предкондиционирования, таких как мобильные установки, двухступенчатые системы расширения воздуха и комбинированные схемы. Представлены результаты сравнительного анализа эффективности разнообразных подходов, а также перспективные направления развития, направленные на уменьшение нагрузки бортовых систем и вспомогательной силовой установки (ВСУ). Изложены требования санитарно-эпидемиологических правил к температурному режиму в различных зонах воздушного судна.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, предварительное охлаждение, турбохолодильник, энергоэффективность, наземные установки систем кондиционирования воздуха, двухступенчатое расширение, теплозвукоизоляция

Для цитирования. Попова Ю.С., Малая Е.В. Применение предварительного охлаждения воздушных масс в системе кондиционирования воздуха самолета. *Молодой исследователь Дона*. 2026;11(2):40–43.

Air Pre-Cooling in Aircraft Air Conditioning Systems

Yulia S. Popova, Elena V. Malaya

Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Abstract

The article studies the methods and technical solutions of air pre-cooling in aircraft air conditioning systems (ACS). It describes the energy-related, environmental, and operational advantages of pre-cooling technologies, such as those implemented in mobile cooling units, two-stage air expansion machines, and hybrid systems. The paper presents the results of a comparative analysis of the efficiency of various approaches, as well as shows the advanced trends for the development focused on reducing the load on the aircraft systems and auxiliary power unit (APU). Sanitary and epidemiological requirements for temperature control in various areas of an aircraft have been specified.

Keywords: air conditioning system, pre-cooling, turbo-refrigerator, energy efficiency, ACS ground units, two-stage expansion, thermal and acoustic insulation

For Citation. Popova YuS, Malaya EV. Air Pre-Cooling in Aircraft Air Conditioning Systems. *Young Researcher of Don*. 2026;11(2):40–43.

Введение. Воздушный транспорт представляет собой сложную конструкцию, где авиационные системы кондиционирования воздуха (СКВ) обеспечивают жизнедеятельность в экстремальных условиях, связанных прежде всего с высотой полета, атмосферным давлением и температурой. Для этого необходимо поддерживать благоприятный микроклимат на борту воздушного судна. Соблюдение температурных норм служит не только залогом комфорта, но и гарантией здоровья пассажиров и членов экипажа. Так, многие пассажиры рейса Канкун (Мексика) — Москва заболели из-за поломки в системе кондиционирования: им пришлось лететь «как в холодильнике» при 15 °С. Высокая температура способна спровоцировать обострение хронических заболеваний с тяжелыми последствиями, вплоть до летального исхода. Подобный случай зафиксирован на борту самолета, следовавшего из Бангкока в Красноярск, — из-за перегрева воздуха в салоне.

Отказ системы кондиционирования самолета часто становится причиной отмены или задержки рейса. Нарушения температурного режима чаще всего возникают при подготовке к вылету, когда пассажиры и грузы уже размещены на борту, двигатели не запущены, а система кондиционирования воздуха (СКВ) функционирует не в полную мощность. Такой инцидент произошел в июле 2021 года на борту самолета авиакомпании «Россия», направлявшегося из Москвы в Анталию: рейс задержали, не обеспечив салон кондиционированием [1, 2]. Согласно действующим нормам, температура воздуха в салоне самолета должна составлять 20–25 °С. Эти требования закреплены пунктом 3.1.1. Санитарно-эпидемиологических правил (СанПиН) (таблица 1).

Таблица 1

Параметры микроклимата в салоне самолета

Зона измерения	Температура воздуха, Т °С	Относительная влажность, %	Скорость движения воздуха, м/с
Кабина летного экипажа	от 20 до 25	от 30 до 70	не более 0,30
Пассажирская кабина	от 20 до 25	–	не более 0,40
Грузовая кабина, буфет-кухня	от 17 до 25	от 30 до 70	не более 0,40

Багажные отсеки современных пассажирских самолетов имеют конструкцию, включающую технические решения, которые позволяют создать определенные температурные и влажностные условия для перевозки особых грузов [3]. Важно отметить, что в багажных отсеках минусовые показатели исключены, а температурные условия варьируются в зависимости от модели судна (таблица 2).

Таблица 2

Температурные показатели багажного отделения самолета

Модель воздушного судна	Температура в багажном отделении, °С	Особенности
Ил-96	+12	Отечественная система обогрева
Ту-154	+15	Система контроля устаревшая

Это критически важно для перевозки животных, цветов, продуктов и других грузов, чувствительных к температурным условиям.

Исходя из этого, целью работы стал анализ основных методов и технических решений предварительного охлаждения воздуха в системах кондиционирования воздушных судов, а также выявление энергетических, экологических и эксплуатационных преимуществ ключевых технологий охлаждения воздушных масс перед началом процесса кондиционирования.

Основная часть. Причина необходимости предварительного охлаждения воздуха кроется в особенностях конструкции современных самолётов (рис. 1). Традиционно воздух, отбираемый от компрессоров двигателей, обладает высокими температурами, поэтому без предварительной обработки подача такого горячего и разреженного воздуха непосредственно в салон невозможна. Предварительное охлаждение выполняет две задачи: снижение энергозатрат на бортовое кондиционирование и уменьшение нагрузки на двигатели. Современные тенденции в авиастроении делают оптимизацию этих процессов критически важной.

Процесс предварительного охлаждения включает несколько этапов, каждый из которых играет свою уникальную роль в достижении конечной цели — поставке свежего воздуха в салон самолёта [4].

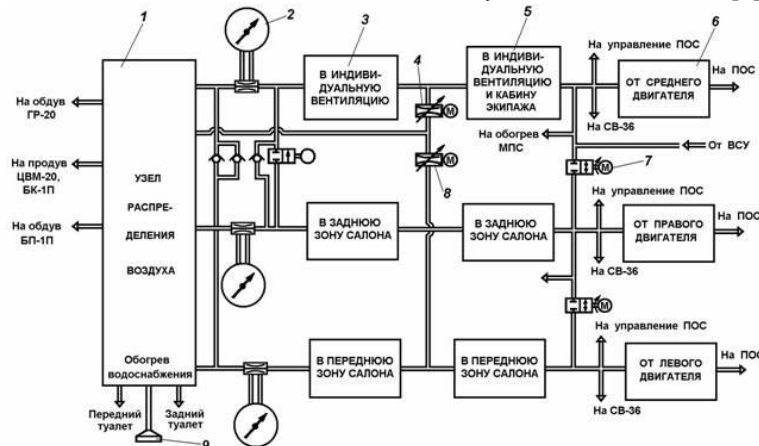


Рис. 1. Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха самолета [8]

Процесс охлаждения воздуха начинается сразу после его выхода из компрессора. Первый этап реализуется в специальных воздушных теплообменниках, известных как первичные охладители. Эти устройства представляют собой крупные алюминиевые радиаторы, размещенные вдоль фюзеляжа самолета и омываемые потоком холодного воздуха, обтекающего внешнюю обшивку борта. Пролетающий через радиатор горячий поток сбрасывает значительную часть тепла, становясь пригодным для дальнейшей обработки [5].

Следующий этап происходит в устройстве, обозначаемом как вторичный охладитель либо промежуточный теплообменник. Данный компонент располагается вблизи основного теплообменника и предназначается для дополнительного понижения температуры воздуха перед поступлением на последующие стадии обработки. Нередко вторичный охладитель дополняется внешним источником холода — например, кондиционером с хладагентом или системой водяного охлаждения.

Наиболее результативный способ дальнейшего снижения температуры основан на эффекте Джоуля–Томпсона, при котором охлаждение достигается за счет быстрого расширения газов. Воздух из теплообменника направляется в турбохолодильник (ТХ), где подвергается резкому распаду и значительному остыванию. Чем выше начальное давление, тем интенсивнее протекает этот процесс. Турбохолодильное оборудование обеспечивает существенное понижение температуры воздуха до допустимых величин.

В настоящее время для предварительного охлаждения воздушного потока применяются мобильные наземные установки предварительного кондиционирования, используемые в аэропортах для подачи охлажденного воздуха к самолетам на стоянке и заменяющие работу вспомогательной силовой установки (ВСУ) [6]. Технические характеристики представлены в таблице 3.

Таблица 3

Технические параметры установок

Модель	Расход воздуха (кг/с)	Мощность охлаждения (кВт)	Габариты (мм)	Масса (кг)
Guinault GF/GF15	1,5	25–420	5000×2220×2223	4500
Guinault GF/CF50	5,0	25–420	6295×2660×3000	10100
ITW GSE 3500	Адаптивный	Не указана	Модульная	Оптимизирована

Для охлаждения в полете применяются схемы с двухступенчатым расширением в турбохолодильниках (ТХ) (рис. 2).

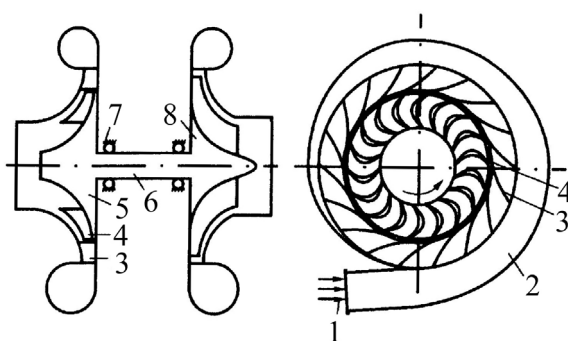


Рис. 2. Схема работы турбохолодильника с двухступенчатым расширением: 1 — патрубок; 2 — улитка; 3 — сопло; 4 — лопатки рабочего колеса; 5 — рабочее колесо турбины; 6 — вал; 7 — подшипник; 8 — колесо вентилятора [9]

Такие установки включают четырехколесные турбохолодильники (ТХ), состоящие из компрессора, двухступенчатой турбины, вентилятора, а также теплообменных аппаратов: первичного теплообменника (ТО1) и вторичного теплообменника (ТО2), конденсатора (ТО-К). Преимущества ТХ заключаются в снижении степени сжатия в автономном компрессоре на 15–20 %, а также в уменьшении температуры воздуха на выходе до +5 °С при наружной +30 °С [7].

Гибридные решения объединяют непрямое испарительное охлаждение (НИО) и холодильные машины. Для этого используется каскадное включение: предварительное охлаждение в НИО-блоках с последующим дозамораживанием в компрессорном контуре. Энергетическая и экологическая эффективность подобных установок обусловлена существенным снижением расхода топлива, уменьшением выбросов CO₂, а также положительным влиянием озонобезопасных хладагентов на атмосферу.

Заключение. Система кондиционирования воздуха представляет собой неотъемлемую составляющую эффективного функционирования современной авиации. В ходе исследования рассмотрены и проанализированы ключевые методы предварительного охлаждения воздуха в системах кондиционирования самолетов. Проведенный анализ предкондиционирования воздушных масс позволяет выявить наиболее перспективные решения для охлаждения с учетом повышения экологичности и снижения энергозатратности установок. Наиболее высокую эффективность демонстрируют гибридные установки, что обосновывает рекомендацию по их применению в самолетостроении.

Список литературы

1. *Пассажиры самолета 13 часов летели в «холодильнике*. URL: <https://clck.ru/3RsiXw/> (дата обращения: 18.02.2026).
2. *Газенваген по усмотрению: Почему авиакомпании держат пассажиров без вентиляции*. Сетевое издание «Новые Известия on-line». URL: <https://clck.ru/3Rsipg> (дата обращения: 18.02.2026).
3. *Общие правила воздушных перевозок пассажиров, багажа, грузов и требования к обслуживанию пассажиров, грузоотправителей, грузополучателей*. Приказ Минтранса России № 82 от 26.06.2007 г. Консультант плюс. URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_71492/ (дата обращения: 18.02.2026).
4. *Испарительные охладители комбинированного типа*. Некоммерческое партнерство инженеров. URL: https://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=2969&ysclid=mhcb25ydi8932498504 (дата обращения: 18.02.2026).
5. Гришина Л.А., Паневин А.Ю. Исследование установки охлаждения воздуха с двухступенчатым расширением. *Известия высших учебных заведений. Машиностроение*. 2025;(1(778)):112–122.
6. Шилова А.К., Кравченко А.Г., Викторен Парфэт Тамба-Тамба, Озерский А.И. Обзор системы жизнеобеспечения самолета АН-30. *Молодой ученый*. 2017;(21(155)):158–160. URL: <https://moluch.ru/archive/155/43854> (дата обращения: 18.02.2026).
7. СП 2.5.3650–20. *Санитарно-эпидемиологические требования к отдельным видам транспорта и объектам транспортной инфраструктуры*. Постановление главного государственного санитарного врача Российской Федерации № 30 от 16 октября 2020 года. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов. URL: <https://docs.cntd.ru/document/566406892> (дата обращения: 18.02.2026).
8. *Принципиальная схема системы кондиционирования воздуха самолета*. URL: <https://studfile.net/preview/7342578/page:28/> (дата обращения: 18.02.2026).
9. *Схема работы турбохолодильника с двухступенчатым расширением*. URL: <https://ppt-online.org/307609> (дата обращения: 18.02.2026).

Об авторах:

Юлия Сергеевна Попова, магистрант кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, 1), r1a2z3del@yandex.ru

Елена Викторовна Малая, кандидат технических наук, доцент кафедры «Техническая эксплуатация летательных аппаратов и наземного оборудования» Донского государственного технического университета (344003, Российская Федерация, г. Ростов-на-Дону, ул. Страны Советов, 1) elvicma@mail.ru

About the Authors:

Yulia S. Popova, Master's Degree Student of the Department of Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment, Don State Technical University (1, Strana Sovetov Str., Rostov-on-Don, 344023), r1a2z3del@yandex.ru

Elena V. Malaya, Cand.Sci. (Engineering), Associate Professor of the Department of Technical Operation of Aircraft and Ground Equipment, Don State Technical University (1, Strana Sovetov Str., Rostov-on-Don, 344023, Russian Federation), elvicma@mail.ru

Conflict of Interest Statement: the authors declare no conflict of interest.

All authors have read and approved the final manuscript.