

ТЕПЛОСНАБЖЕНИЕ, ВЕНТИЛЯЦИЯ, КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА, ГАЗОСНАБЖЕНИЕ И  
ОСВЕЩЕНИЕ/HEATING, VENTILATION, AIR CONDITIONING, GAS SUPPLY AND LIGHTING

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.63.2>

ОСОБЕННОСТИ СИСТЕМ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР  
НАРУЖНОГО ВОЗДУХА (НА ПРИМЕРЕ РЕСПУБЛИКИ САХА (ЯКУТИЯ))

Научная статья

Баишева Л.М.<sup>1,\*</sup>, Иванова А.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-5554-9645;

<sup>1,2</sup> Северо-Восточный федеральный университет, Якутск, Российская Федерация

<sup>2</sup> Монгольский государственный университет науки и техники, Улан-Батор, Монголия

\* Корреспондирующий автор (lidiyabaisheva[at]mail.ru)

**Аннотация**

В представленной статье исследуются особенности функционирования систем кондиционирования воздуха (СКВ) в регионах, характеризующихся экстремально низкими температурами атмосферного воздуха. Особое внимание уделяется анализу специфических климатических условий Республики Саха (Якутия), оказывающих существенное влияние на работоспособность и эффективность СКВ. Проводится комплексный анализ ключевых факторов, детерминирующих энергетическую эффективность и эксплуатационную надежность систем, включая повышенные теплопотери ограждающих конструкций зданий, процессы обмерзания теплообменных аппаратов и необходимость обеспечения повышенной надежности используемого оборудования. На основе проведенного анализа формулируются научно обоснованные рекомендации по проектированию и эксплуатации СКВ, направленные на обеспечение нормируемых параметров микроклимата в помещениях различного назначения и минимизацию рисков возникновения аварийных ситуаций в условиях сурового климата.

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, микроклимат, низкие температуры, Республика Саха (Якутия), СКВ, суровый климат.

SPECIFICS OF AIR CONDITIONING SYSTEMS IN LOW OUTDOOR TEMPERATURES (ON THE EXAMPLE OF  
THE REPUBLIC OF SAKHA (YAKUTIA))

Research article

Baisheva L.M.<sup>1,\*</sup>, Ivanova A.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-5554-9645;

<sup>1,2</sup> North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia

\* Corresponding author (lidiyabaisheva[at]mail.ru)

**Abstract**

The presented article examines the specifics of air conditioning systems (ACS) functioning in regions characterised by extremely low atmospheric temperatures. Particular attention is paid to the analysis of specific climatic conditions in the Republic of Sakha (Yakutia), which have a significant impact on the performance and efficiency of ACS. A complex analysis of the key factors determining the energy efficiency and operational reliability of the systems is carried out, including increased heat loss from building structures, the processes of freezing of heat exchangers, and the necessity of ensuring increased reliability of the equipment used. Based on the analysis, scientifically substantiated recommendations are formulated for the design and operation of ACS systems, aimed at ensuring standardised microclimate parameters in rooms for various purposes and minimising the risks of emergencies in harsh climatic conditions.

**Keywords:** air conditioning, microclimate, low temperatures, Republic of Sakha (Yakutia), ACS, harsh climate.

**Введение**

Проблема обеспечения нормативных параметров микроклимата в помещениях различного назначения приобретает особую актуальность в регионах с экстремальными климатическими условиями. Республика Саха (Якутия) с ее продолжительным периодом низких температур наружного воздуха представляет собой характерный пример такого региона. В связи с этим исследование особенностей проектирования и эксплуатации систем кондиционирования воздуха (СКВ) в условиях низких температур является важной научно-практической задачей.

Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения комфортных условий проживания и работы населения в условиях сурового климата, а также повышения энергоэффективности и надежности функционирования инженерных систем зданий.

**1.1. Анализ предшествующих исследований**

В области проектирования и эксплуатации СКВ в условиях низких температур выполнен ряд исследований, посвященных различным аспектам данной проблемы [4], [5], [6], [7], [9]. Рассмотрены вопросы оптимизации теплоизоляции зданий, разработки систем защиты от обмерзания теплообменных аппаратов, выбора надежного оборудования и проведения регулярного технического обслуживания. Однако, как показывает анализ литературы, недостаточно исследований, комплексно рассматривающих специфику работы СКВ в условиях Республики Саха (Якутия), учитывающих местные климатические особенности и строительные традиции.

## 1.2. Цель и задачи исследования

Целью данного исследования является выявление и анализ особенностей работы СКВ в условиях низких температур наружного воздуха на примере Республики Саха (Якутия), а также разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации, направленных на повышение энергоэффективности и надежности систем.

Задачи исследования:

- 1) анализ климатических особенностей Республики Саха (Якутия), оказывающих влияние на работу СКВ;
- 2) идентификация основных факторов, влияющих на эффективность и надежность работы СКВ в условиях низких температур;
- 3) оценка влияния колебаний внутренней температуры на расчет параметров приточного воздуха;
- 4) разработка рекомендаций по проектированию и эксплуатации СКВ, адаптированных к условиям Республики Саха (Якутия).

## 1.3. Объект и методы исследования

Объектом исследования являются системы кондиционирования воздуха, эксплуатируемые в зданиях различного назначения на территории Республики Саха (Якутия).

В процессе исследования использовались следующие методы:

- анализ литературных источников и нормативной документации;
- статистический анализ климатических данных;
- теоретическое моделирование тепловых процессов в зданиях;
- анализ опыта эксплуатации СКВ в условиях Республики Саха (Якутия).

## Основная часть

### 2.1. Климатические особенности Республики Саха (Якутия)

Республика Саха (Якутия) является крупнейшим по площади субъектом Российской Федерации, расположенным в зоне резко континентального климата. Зимний период характеризуется продолжительностью и суровостью, со средними температурами января, варьирующимися в диапазоне  $-40...-50$  °С, при этом абсолютные минимальные значения могут достигать отметок ниже  $-60$  °С. Летние месяцы, напротив, отличаются высокими температурами, что обуславливает значительные годовые амплитуды температурных колебаний.

В частности, в городе Якутске наблюдаются существенные колебания температуры в течение года (рис. 1). Теплое время года (с середины мая до середины сентября) характеризуется среднесуточной температурой выше  $13$  °С, при этом наиболее теплым месяцем является июль, со средними дневными температурами около  $24$  °С. Холодный период (с середины ноября до конца февраля) характеризуется среднесуточной температурой ниже  $-24$  °С, а наиболее суровым месяцем является январь, со средними дневными температурами около  $-42$  °С [10].

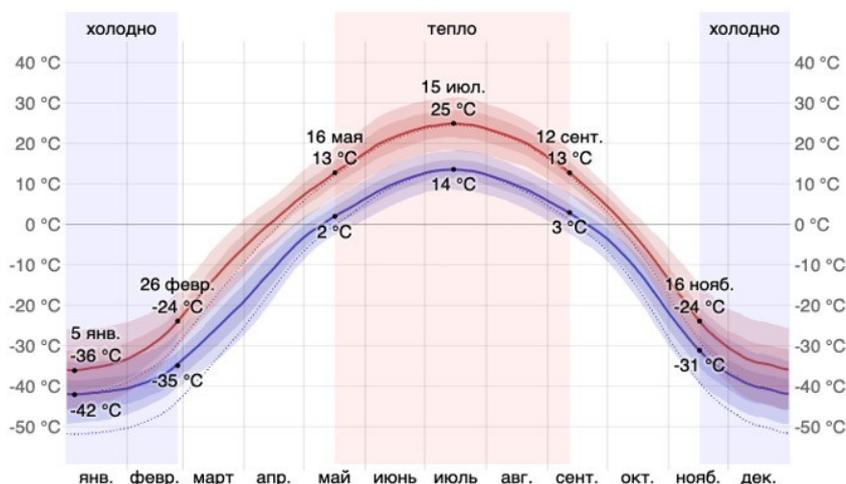


Рисунок 1 - Средняя максимальная и минимальная температура в г. Якутск

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.63.2.1>

## 2.2. Факторы, влияющие на работу СКВ в условиях низких температур

### 2.2.1. Высокие теплопотери зданий

Значительная разница температур между внутренним и наружным воздухом обуславливает высокие теплопотери через ограждающие конструкции зданий (стены, крыша, окна, двери). Данный фактор приводит к следующим последствиям:

1. *Увеличение энергопотребления:* для компенсации теплопотерь требуется значительное увеличение потребления энергии системами отопления (в зимний период) и кондиционирования (в летний период).
2. *Повышение финансовых затрат:* рост энергопотребления влечет за собой увеличение расходов на оплату коммунальных услуг.
3. *Некомфортная среда:* недостаточная теплоизоляция и высокие теплопотери могут приводить к неравномерному распределению температуры в помещении, образованию холодных зон и сквозняков.

4. *Увеличение нагрузки на системы отопления и кондиционирования:* для компенсации больших теплопотерь требуется более мощное оборудование, что повышает его износ и сокращает срок службы.

5. *Негативное воздействие на окружающую среду:* повышенное энергопотребление приводит к увеличению выбросов парниковых газов.

### **2.2.2. Обмерзание теплообменных аппаратов**

Обмерзание теплообменных аппаратов (калориферов, рекуператоров) является распространенной проблемой СКВ в холодное время года. Процесс обмерзания обусловлен конденсацией, кристаллизацией и намерзанием влаги, содержащейся в приточном воздухе, на поверхностях теплообменника, имеющих отрицательную температуру.

Последствия обмерзания теплообменных аппаратов:

1. *Снижение эффективности теплообмена:* лед, образующийся на поверхности теплообменника, снижает теплопередачу между теплоносителем и приточным воздухом.

2. *Увеличение сопротивления воздушному потоку:* нарастание льда приводит к уменьшению проходного сечения теплообменника, что увеличивает сопротивление воздушному потоку.

3. *Повреждение оборудования:* в крайних случаях, при сильном обмерзании, лед может деформировать или разрушить пластины теплообменника.

4. *Выход оборудования из строя:* обмерзание может привести к полной остановке системы вентиляции или кондиционирования.

5. *Нарушение микроклимата в помещении:* недостаточный нагрев приточного воздуха может привести к снижению температуры в помещении.

### **2.2.3. Повышенные требования к надежности оборудования**

В условиях экстремальных температур к надежности оборудования СКВ предъявляются повышенные требования, обусловленные необходимостью:

1. *Обеспечения бесперебойного функционирования:* отказ СКВ может привести к серьезным последствиям, таким как переохлаждение, перегрев, повреждение оборудования или ухудшение условий труда.

2. *Устойчивости к низким температурам:* низкие температуры могут негативно влиять на различные компоненты СКВ.

3. *Минимизации рисков аварийных ситуаций:* экстремальные температуры увеличивают риск аварийных ситуаций, таких как перегрузка оборудования, утечки хладагента или возгорания.

4. *Снижения затрат на обслуживание и ремонт:* частое обслуживание и ремонт оборудования СКВ в условиях экстремальных температур могут быть дорогостоящими и трудоемкими.

### **2.3. Рекомендации по проектированию и эксплуатации СКВ**

1. *Теплоизоляция зданий:* при проектировании и строительстве зданий необходимо уделять особое внимание теплоизоляции ограждающих конструкций для минимизации теплопотерь.

2. *Проектирование систем защиты от обмерзания:* необходимо предусматривать системы защиты от обмерзания теплообменных аппаратов, такие как предварительный подогрев приточного воздуха, байпасирование, использование датчиков температуры и влажности.

3. *Выбор надежного оборудования:* необходимо использовать морозостойкие, коррозионностойкие и износостойкие материалы для изготовления оборудования.

4. *Регулярное техническое обслуживание:* необходимо проводить регулярное техническое обслуживание и диагностику оборудования СКВ.

### **2.4. Влияние незначительных колебаний внутренней температуры на расчет параметров приточного воздуха в жилых зданиях**

В условиях Якутии, характеризующейся продолжительными периодами экстремально низких температур, даже незначительные колебания внутренней температуры могут оказать существенное влияние на точность расчета параметров приточного воздуха. Это обусловлено сложным взаимодействием теплофизических свойств ограждающих конструкций, интенсивностью инфильтрации и принципами работы систем вентиляции.

Любое здание стремится к установлению теплового равновесия с окружающей средой. Интенсивность теплопотерь через ограждающие конструкции (стены, окна, кровлю, пол) прямо пропорциональна разнице температур между внутренним и наружным воздухом, которая описывается уравнением теплопередачи Фурье.

В условиях низких наружных температур и при использовании современных теплоизоляционных материалов с низким коэффициентом теплопередачи, влияние колебаний внутренней температуры на теплопотери может быть особенно значительным.

Влияние температуры также распространяется на инфильтрацию – неорганизованное проникновение наружного воздуха через неплотности в ограждающих конструкциях. Интенсивность инфильтрации пропорциональна разнице давлений между внутренним и наружным воздухом, которая, в свою очередь, зависит от разницы температур. Чем больше разница температур, тем сильнее тяга и, следовательно, больше приток холодного воздуха в помещение.

Системы вентиляции и кондиционирования воздуха предназначены для подачи свежего воздуха, необходимого для поддержания комфортного микроклимата, а также для компенсации теплопотерь и нагрева инфильтрующегося воздуха. При увеличении внутренней температуры на, например, 2 °С, возрастают теплопотери через ограждающие конструкции и увеличивается инфильтрация холодного воздуха. Для компенсации этих изменений необходимо либо увеличить температуру приточного воздуха, либо увеличить его объем.

Выбор оптимального решения зависит от характеристик системы вентиляции, теплоизоляции здания и экономических факторов. Неправильный расчет температуры приточного воздуха, не учитывающий влияние изменения внутренней температуры, может привести к переохлаждению помещений, повышенной влажности и образованию конденсата, а также к неэффективному использованию энергии. Например, если система вентиляции

рассчитана на поддержание температуры 22 °С, а фактическая температура снизилась до 20 °С, подача воздуха с расчетной температурой приведет к дискомфорту и возможному переохлаждению.

## 2.5. Оптимизированные решения для систем вентиляции в условиях экстремально низких температур

Для обеспечения надежной и эффективной работы систем вентиляции и кондиционирования воздуха в условиях низких температур наружного воздуха необходимо применять оптимизированные решения. Одним из таких решений является многоступенчатая система обработки воздуха, включающая предварительный подогрев, рекуперацию тепла и основной подогрев (рис. 2) [1], [2], [3], [8].

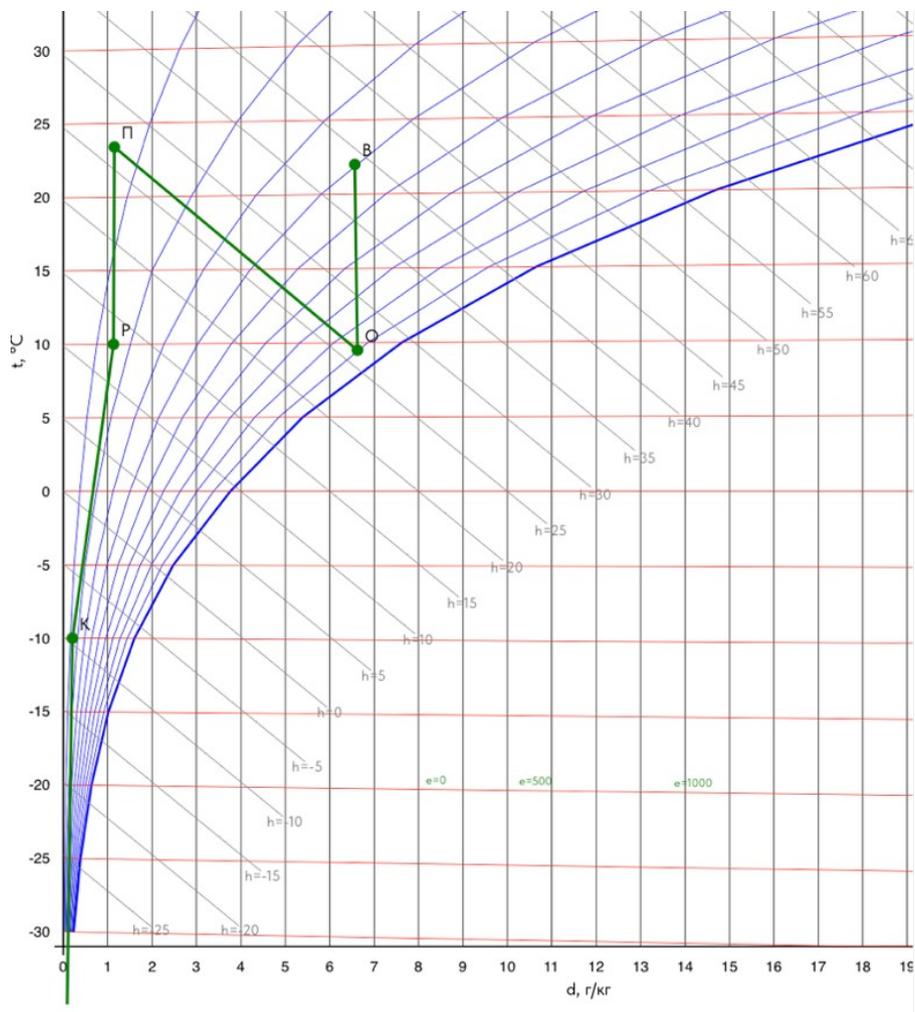


Рисунок 2 - Многоступенчатая система обработки воздуха

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.63.2.2>

Рассмотрим детально основные этапы обработки воздуха в многоступенчатых СКВ с учетом современных требований к энергоэффективности и экологической безопасности.

### 2.5.1. Первичный подогрев (предварительный подогрев)

На начальном этапе происходит предварительный нагрев наружного воздуха, целью которого является предотвращение обмерзания теплообменных аппаратов, расположенных далее по потоку воздуха. Данный этап критически важен при эксплуатации СКВ в условиях низких температур, особенно в регионах с холодным климатом, таких как Республика Саха (Якутия). В качестве нагревательных элементов могут использоваться электрические нагреватели или водяные калориферы, работающие на незамерзающих теплоносителях (например, растворах гликолей). Выбор типа нагревателя определяется на основании технико-экономического анализа, учитывающего доступность энергоресурсов, капитальные затраты и эксплуатационные расходы. Энергоэффективность данного этапа может быть повышена за счет использования систем автоматического регулирования, которые оптимизируют мощность нагревателя в зависимости от температуры наружного воздуха и других факторов.

### 2.5.2. Рекуперация тепла

Рекуперация тепла — это процесс утилизации тепловой энергии удаляемого воздуха для предварительного нагрева приточного воздуха. Использование рекуператоров является эффективным способом снижения энергопотребления СКВ и уменьшения выбросов парниковых газов. Существуют различные типы рекуператоров, такие как пластинчатые, роторные, тепловые трубки и рекуператоры с промежуточным теплоносителем. Выбор типа рекуператора зависит от множества факторов, включая требуемую эффективность рекуперации, гидравлическое сопротивление, габаритные размеры и требования к разделению воздушных потоков. Важно отметить, что применение рекуператоров наиболее

эффективно при температурах, исключая обмерзание. При низких температурах необходимо предусматривать системы защиты от обмерзания, такие как байпасные линии или изменение скорости вращения ротора. Современные исследования направлены на разработку новых материалов и конструкций рекуператоров, обеспечивающих более высокую эффективность и устойчивость к обмерзанию.

### 2.5.3. Вторичный подогрев

После рекуперации тепла, воздух, как правило, требует дополнительного нагрева для достижения заданной температуры, необходимой для поддержания комфортных условий в помещении. Для вторичного подогрева используются водяные или электрические нагреватели, аналогичные тем, что применяются для первичного подогрева. Точный выбор типа нагревателя зависит от конкретных условий эксплуатации и экономических соображений. Современные системы управления СКВ позволяют плавно регулировать мощность нагревателя, обеспечивая точное поддержание заданной температуры и минимизируя энергопотребление.

### 2.5.4. Оросительная камера

Оросительная камера предназначена для увлажнения воздуха и, в некоторых случаях, его охлаждения. В оросительной камере воздух контактирует с распыленной водой, в результате чего происходит испарение влаги и изменение энтальпии воздуха. Эффективность оросительной камеры зависит от температуры воды, площади контакта воздуха с водой и скорости воздушного потока. Оросительные камеры также способствуют очистке воздуха от пыли и других загрязнений. В современных СКВ часто используются ультразвуковые увлажнители, которые обеспечивают более точный контроль влажности и минимизируют риск образования бактерий и плесени.

### 2.5.5. Финальный подогрев (третичный нагрев)

Финальный подогрев предназначен для точной настройки температуры воздуха непосредственно перед подачей в помещение. Этот этап позволяет компенсировать тепловые потери в воздуховодах и обеспечить поддержание стабильной температуры в каждой зоне помещения. Финальный подогрев обычно осуществляется с помощью небольших электрических нагревателей, расположенных непосредственно перед воздухораспределителями.

### Пример многоступенчатой СКВ

#### Система кондиционирования воздуха районной больницы г. Покровск Республика Саха (Якутия)

Рассмотрим пример многоступенчатой СКВ, реализованной в районной больнице г. Покровск, расположенной в условиях экстремально низких температур (рис. 3).

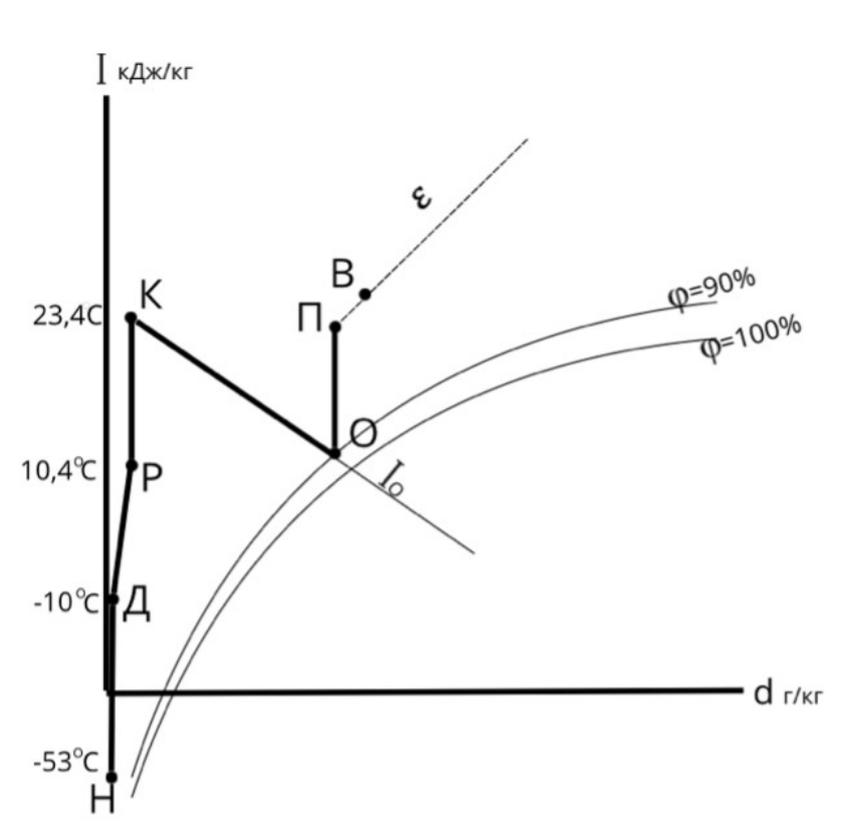


Рисунок 3 - Многоступенчатая схема СКВ районной больницы г. Покровск на I-d-диаграмме

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.63.2.3>

Схема данной системы включает в себя следующие элементы:

1. *Первичный электрический нагреватель (процесс Н-Д)*: обеспечивает предварительный подогрев наружного воздуха при температуре ниже  $-30^{\circ}\text{C}$ , предотвращая обмерзание рекуператора и других теплообменных аппаратов.
2. *Пластинчатый рекуператор (процесс Д-Р)*: утилизирует тепло удаляемого воздуха, снижая энергозатраты на подогрев приточного воздуха.

3. *Водяной калорифер (процесс Р-К)*: обеспечивает вторичный подогрев воздуха до заданной температуры.

4. *Оросительная камера (процесс КО)*: увлажняет воздух для поддержания комфортных параметров микроклимата.

5. *Водяной калорифер (процесс О-П)*: обеспечивает третичный подогрев воздуха до заданной температуры.

6. *Система автоматического управления*: обеспечивает поддержание заданных параметров микроклимата в помещении, оптимизируя работу всех элементов системы.

Данная система позволяет обеспечить стабильные и комфортные условия для пациентов и персонал.

### **Рекомендации по проектированию и эксплуатации СКВ в условиях низких температур**

Проектирование и эксплуатация систем кондиционирования воздуха (СКВ) в регионах с низкими температурами требуют особого внимания к энергоэффективности, надежности и безопасности. Многоступенчатые СКВ, описанные выше, позволяют более гибко и эффективно адаптироваться к меняющимся условиям внешней среды. Ниже представлены рекомендации, основанные на рассмотренных этапах обработки воздуха и опыте эксплуатации в экстремальных условиях, таких как Республика Саха (Якутия).

#### **1. Первичный подогрев (предварительный подогрев):**

*Тип нагревателя*: выбор между электрическими нагревателями и водяными калориферами должен быть основан на технико-экономическом анализе, учитывающем не только стоимость оборудования, но и доступность и стоимость энергоресурсов в регионе. В условиях удаленных районов, где электроэнергия может быть дорогой, предпочтительнее использовать водяные калориферы, работающие на местных видах топлива (например, уголь, газ) или возобновляемых источниках энергии. Важно предусмотреть возможность резервного питания для электрических нагревателей на случай отключения электроэнергии.

*Незамерзающие теплоносители*: при использовании водяных калориферов обязательно применение незамерзающих теплоносителей (например, растворов гликолей). Концентрация гликоля должна быть подобрана с учетом минимальных температур в регионе, обеспечивая запас по температуре замерзания.

*Автоматическое регулирование*: обязательно использование систем автоматического регулирования мощности нагревателя в зависимости от температуры наружного воздуха. Это позволяет оптимизировать энергопотребление и избежать перегрева воздуха. Рекомендуется использовать датчики температуры с высокой точностью и быстродействием.

*Резервирование*: в критически важных объектах (например, больницах) необходимо предусматривать резервный нагреватель на случай выхода из строя основного.

#### **2. Рекуперация тепла:**

*Тип рекуператора*: выбор типа рекуператора должен основываться на требуемой эффективности рекуперации, гидравлическом сопротивлении, габаритных размерах, а также на требованиях к разделению воздушных потоков. Роторные рекуператоры обеспечивают высокую эффективность рекуперации, но требуют большего внимания к обслуживанию и могут представлять риск перекрестного загрязнения воздушных потоков. Пластинчатые рекуператоры более просты в обслуживании, но имеют меньшую эффективность.

*Защита от обмерзания*: при низких температурах необходимо предусматривать системы защиты от обмерзания, такие как байпасные линии, изменение скорости вращения ротора (для роторных рекуператоров) или предварительный подогрев приточного воздуха. Важно обеспечить эффективную работу системы защиты от обмерзания, чтобы избежать снижения эффективности рекуперации или повреждения оборудования.

*Материалы*: при выборе рекуператора следует отдавать предпочтение моделям, изготовленным из материалов, устойчивых к коррозии и воздействию низких температур.

*Мониторинг*: необходимо предусмотреть систему мониторинга эффективности рекуперации и состояния рекуператора.

#### **3. Вторичный подогрев:**

*Регулирование*: необходимо обеспечить плавное регулирование мощности нагревателя для точного поддержания заданной температуры и минимизации энергопотребления.

*Расположение*: размещать вторичный подогреватель следует после рекуператора для достижения наибольшей эффективности всей системы.

#### **4. Оросительная камера:**

*Тип увлажнителя*: в современных СКВ рекомендуется использовать ультразвуковые увлажнители, которые обеспечивают более точный контроль влажности и минимизируют риск образования бактерий и плесени.

*Водоподготовка*: необходимо обеспечить качественную водоподготовку для увлажнителей, чтобы предотвратить образование накипи и коррозии оборудования.

*Дезинфекция*: регулярно проводить дезинфекцию оросительной камеры для предотвращения распространения бактерий и плесени.

#### **5. Финальный подогрев (третичный нагрев):**

*Точное регулирование*: обеспечить точную настройку температуры воздуха непосредственно перед подачей в помещение для компенсации тепловых потерь в воздуховодах.

*Локальное управление*: желательно предусмотреть возможность локального управления температурой в каждой зоне помещения для обеспечения индивидуального комфорта.

### **Заключение**

Эффективное проектирование и эксплуатация СКВ в условиях низких температур требует комплексного подхода, учитывающего особенности климата, доступность энергоресурсов и специфические требования объекта. Применение

многоступенчатых систем, включающих первичный подогрев, рекуперацию тепла, вторичный и финальный подогрев, а также увлажнение, позволяет обеспечить комфортные условия в помещении при минимальном энергопотреблении.

Пример системы кондиционирования воздуха районной больницы г. Покровск, Республика Саха (Якутия), демонстрирует успешное применение многоступенчатой СКВ в условиях экстремально низких температур. Ключевыми факторами успеха являются:

- 1) предварительный подогрев наружного воздуха для защиты от обмерзания;
- 2) эффективная рекуперация тепла для снижения энергозатрат;
- 3) автоматическое управление для оптимизации работы всех элементов системы.

При проектировании и эксплуатации СКВ в условиях низких температур необходимо уделять особое внимание выбору оборудования, качеству монтажа и регулярному техническому обслуживанию. Соблюдение рекомендаций, представленных в данном документе, позволит обеспечить надежную и экономичную работу системы кондиционирования воздуха в течение всего срока эксплуатации. Важно проводить мониторинг работы системы и анализировать данные для выявления потенциальных проблем и оптимизации параметров работы.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Сообщество рецензентов Международного научно-исследовательского журнала

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.63.2.4>

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

International Research Journal Reviewers Community

DOI: <https://doi.org/10.60797/mca.2025.63.2.4>

### Список литературы / References

1. Абрамкина Д.В. Проектирование систем отопления, вентиляции и кондиционирования промышленных зданий : учебно-методическое пособие / Д.В. Абрамкина, А.С. Чуленев, К.М. Агаханова. — Москва : МИСИ-МГСУ, ЭБС АСВ, 2020. — 61 с.
2. Аверкин А.Г. I-d-диаграмма влажного воздуха и ее применение при проектировании технических устройств / А.Г. Аверкин. — Санкт-Петербург : Лань, 2022. — 192 с.
3. Бодров М.В. Кондиционирование воздуха и холодоснабжение / М.В. Бодров, В.Ю. Кузин. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 228 с.
4. Васильев С.С. О возможности хладоснабжения от тепловой электростанции на примере г. Якутска. / С.С. Васильев, Л.М. Баишева // Международный технико-экономический журнал. — 2019. — № 6. — С. 7–17.
5. Иванов В.Н. Влияние параметров климата на эксплуатацию систем теплообеспечения зданий. / В.Н. Иванов, А.Н. Колодезникова // Перспективы науки. — 2021. — № 11(146). — С. 90–93.
6. Моргунова М.А. Организация искусственного климата для экстремальных условий Крайнего Севера / М.А. Моргунова // Фундаментальные и прикладные научные исследования : сборник трудов по материалам XII Международного конкурса научно-исследовательских работ. — Уфа : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр «Вестник науки», 2023. — С. 206–221.
7. Семенов К.Ю. Критерии системного подхода к энергосбережению в зданиях Республики Саха (Якутия) / К.Ю. Семенов, А.Н. Иванов, А.В. Иванова // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты : сборник материалов XXXIV Международной научно-практической конференции. — Новосибирск : Общество с ограниченной ответственностью «Центр развития научного сотрудничества», 2017. — С. 93–98.
8. Свинцов А.П. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : учебное пособие / А.П. Свинцов. — Москва, Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 148 с.
9. Слободчиков Е.Г. Состояние коммунального комплекса арктической зоны Якутии / Е.Г. Слободчиков, С.И. Мухоплев // Вестник евразийской науки. — 2022. — Т. 14, № 6. — С. 10–13.
10. Средняя температура в г. Якутск // Weather Spark. — URL: <https://ru.weatherspark.com/y/142848/Обычная-погода-в-Якутск-Россия-весь-год> (дата обращения: 22.04.2025).

### Список литературы на английском языке / References in English

1. Abramkina D.V. Proektirovanie sistem otopeniya, ventilyatsii i konditsionirovaniya promishlennikh zdaniy [Design of heating, ventilation and air conditioning systems in industrial buildings] : training manual / D.V. Abramkina, A.S. Chulenev, K.M. Agakhanova. — Moscow : MISI-MGSU, EBS ASV, 2020. — 61 p. [in Russian]
2. Averkin A.G. I-d-diagramma vlazhnogo vozdukha i yee primeneniye pri proektirovanii tekhnicheskikh ustroystv [The Psychrometric Chart and its Application in Engineering Design] / A.G. Averkin. — Saint Petersburg : Lan, 2022. — 192 p. [in Russian]
3. Bodrov M.V. Konditsionirovanie vozdukha i kholodosnabzhenie [Air Conditioning and Refrigeration] / M.V. Bodrov, V.Yu. Kuzin. — Saint Petersburg : Lan, 2024. — 228 p. [in Russian]
4. Vasil'ev S.S. O vozmozhnosti xladostsnabzheniya ot teplovoj e'lektrostantsii na primere g. Yakutsk [Feasibility of District Cooling from a Thermal Power Plant: A Case Study of Yakutsk]. / S.S. Vasil'ev, L.M. Baisheva // International Journal of Technology and Economics. — 2019. — № 6. — P. 7–17. [in Russian]

5. Ivanov V.N. Vliyanie parametrov klimata na e'kspluatatsiyu sistem teploobespecheniya zdaniy [Impact of Climate Parameters on the Operation of Building Heating Systems]. / V.N. Ivanov, A.N. Kolodeznikova // Perspectives of Science. — 2021. — № 11(146). — P. 90–93. [in Russian]
6. Morgunova M.A. Organizatsiya iskusstvennogo klimata dlya ekstremalnikh uslovii Krainego Severa [Artificial Climate Control for Extreme Arctic Conditions] / M.A. Morgunova // Fundamental'nye i prikladnye nauchnye issledovaniya [Fundamental and Applied Scientific Research] : proceedings of the XII International Research Competition. — Ufa : Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennostyu «Nauchno-izdatelskii tsentr «Vestnik nauki», 2023. — P. 206–221. [in Russian]
7. Semenov K.Yu. Kriterii sistemnogo podkhoda k energosberezheniyu v zdaniyakh Respubliki Sakha (Yakutiya) [Systemic Approach Criteria for Energy Conservation in Buildings in the Republic of Sakha (Yakutia)] / K.Yu. Semenov, A.N. Ivanov, A.V. Ivanova // Fundamental'nye i prikladnye issledovaniya: problemy i rezul'taty [Fundamental and Applied Research: Problems and Results] : proceedings of the XXXIV International Scientific-Practical Conference. — Novosibirsk : Obshchestvo s ogranichennoi otvetstvennostyu «Tsentr razvitiya nauchnogo sotrudnichestva», 2017. — P. 93–98. [in Russian]
8. Svintsov A.P. Otoplenie, ventilyatsiya i konditsionirovanie vozdukha [Heating, Ventilation, and Air Conditioning] : a textbook / A.P. Svintsov. — Moscow, Vologda : Infra-Inzheneriya, 2023. — 148 p. [in Russian]
9. Slobodchikov Ye.G. Sostoyanie kommunalnogo kompleksa arkticheskoi zoni Yakutii [The State of the Municipal Infrastructure in the Arctic Zone of Yakutia] / Ye.G. Slobodchikov, S.I. Mukhoplev // Vestnik yevraziiskoi nauki [The Eurasian Scientific Journal]. — 2022. — Vol. 14, № 6. — P. 10–13. [in Russian]
10. Srednyaya temperatura v g. Yakutsk [Average Temperature in Yakutsk] // Weatherspark. — URL: <https://ru.weatherspark.com/y/142848/Обычная-погода-в-Якутск-Россия-весь-год> (дата обращения: 22.04.2025). [in Russian]