

---

## Секция 3. Системы кондиционирования и жизнеобеспечения

### Экспериментальное исследование динамики ротора авиационного турбохолодильника на газодинамических подшипниках

© | Тищенко И.В.  
Николаев В.С.  
Меркулов В.И.

iv.tischenko@bmstu.ru  
nikolaevvs@bmstu.ru  
vim1935@mail.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Представлены результаты экспериментального исследования динамики ротора четырехколесного авиационного турбохолодильника на газодинамических опорах в условиях вибрационного воздействия. Приведено описание экспериментальной установки, измерительной системы и методов обработки результатов. Ротор турбохолодильника установлен на лепестковые газодинамические радиальные подшипники II поколения. Частота вращения ротора варьировалась в диапазоне от 20 до 32 тыс. об/мин. Турбохолодильник подвергался воздействию широкополосной случайной вибрации со среднеквадратичным значением виброускорения до 5g. Проведена оценка влияния на динамику ротора уровня виброн нагружения, температуры подаваемого воздуха, амплитудно-частотной характеристики корпуса турбохолодильника и вибрационной оснастки.

**Ключевые слова:** турбохолодильник, газодинамические подшипники, эксперимент

### Experimental Study of a Dynamics Rotor of an Aircraft Air Cycle Machine with Foil Gas Bearings

© | Tishchenko I.V.  
Nikolaev V.S.  
Merkulov V.I.

iv.tischenko@bmstu.ru  
nikolaevvs@bmstu.ru  
vim1935@mail.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

In this paper presented results of experimental study of a dynamics rotor of a four-wheeled aircraft air cycle machine with foil gas bearings under vibration. A description of the experimental setup, the measuring system, and methods for processing the results is given. The rotor of the air cycle machine is mounted on the foil gas-dynamic radial bearings of the second generation. The rotor speed varied in the range from 20 to 32 krpm. The air cycle

machine was exposed to broadband random vibration with a rms vibration acceleration value of up to 5g. The influence of the vibration load level, the temperature of the supplied air, the amplitude-frequency characteristics of the air cycle machine housing and vibration equipment was evaluated.

**Keywords:** turbine expansion unit, gasodynamic bearings, experiment

## Компьютерное обучение для контроля загрязнения фильтра

© Краузе Р.  
Оппельт Т.  
Май Р.  
Фрибе К.  
Додже С.  
Херцог Р.

ralf.herzog@ilkdresden.de

Институт воздушной и холодильной техники GmbH,  
отдел очистки и кондиционирования воздуха, Дрезден, 01309, Германия

Современные здания обычно имеют воздухонепроницаемую конструкцию. Поэтому, как правило, часто необходимо использовать механическую вентиляцию. Важнейшей частью системы отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха (HVAC) является фильтр, который позволяет создать атмосферу, свободную от пыли, аэрозолей и пыльцы. По мере накопления органического материала на поверхности фильтра возрастает риск роста микроорганизмов. Это может привести к проблемам со здоровьем, особенно для жителей данного здания. Для этого был разработан алгоритм компьютерного обучения с использованием различных параметров, таких как температура воздуха и относительная влажность, коэффициент падения давления и влажность фильтра. Метод был реализован как на испытательном стенде, так и в системе вентиляции и кондиционирования ИЛК Дрезден, чтобы объединить данные для различных ненормальных и нормальных условий эксплуатации. Алгоритм компьютерного обучения был успешно обучен и протестирован для обнаружения аномалий поведения фильтра. Наконец, интервалы замены фильтра могут быть адаптированы к реальной степени загрязнения без необходимости визуального наблюдения для обеспечения наилучших условий воздуха. Этот алгоритм является частью общей стратегии процессов машинного обучения для систем HVAC.

**Ключевые слова:** ОВК, СКВ, машинное обучение, загрязнение

---

## Machine Learning for Filter Pollution Control

© Krause R.  
Oppelt T.  
Mai R.  
Friebe Ch.  
Döge S.  
Herzog R.

ralf.herzog@ilkdresden.de

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH,  
Hauptbereich Luft- und Klimatechnik, Dresden, 01309, Germany

Modern buildings usually have an air-tight envelope. Therefore mechanical ventilation is very often necessary. A crucial part of the heating ventilation and air conditioning (HVAC) system is the filter which allows to create an atmosphere which is free of dust, aerosols, and pollen. As organic material accumulates on the filter surface, the risk of micro-organism growth rises. This may yield health issues especially for the occupants of buildings. For this purpose a machine learning algorithm was developed utilizing different parameters as air temperatures and relative humidity, pressure drop coefficient and filter humidity. The method was implemented in both a test rig and the HVAC system of the ILK Dresden in order to aggregate data for different abnormal and normal operation conditions. The machine learning algorithm has been trained successfully to detect anomalies of the filter behavior. Finally, the change intervals of the filter could be adapted to the real degree of pollution without the requirement for visual observation in order to provide best air conditions. This algorithm is part of a general strategy for machine learning processes for HVAC systems.

**Keywords:** HVAC, Machine learning, pollution control

## Теплообменник с полупроницаемыми мембранами для восстановления влажности

© Краузе Р.  
Розенбаум Х.  
Херцог Р.

ralf.herzog@ilkdresden.de

Институт воздушной и холодильной техники GmbH,  
отдел очистки и кондиционирования воздуха, Дрезден, 01309, Германия

В современной науке и технике следует учитывать как рекуперацию тепла, так же и рекуперацию тепла и влаги. Особое значение имеет рекуперация влаги в зимнее время, когда для получения комфортного качества воздуха в помещении необходимо организовать передачу влаги между потоком приточного воздуха, который имеет более низкое содержание влаги и отходящего потока воздуха с более высоким содержанием влаги. Однако все существующие системы на рынке требуют, чтобы приточный и вытяжной воздух проходил внутри устройства. Практические системы рекуперации энтальпии для концепций установки с локальным разделением приточ-

ного и вытяжного воздуха до сих пор отсутствуют на рынке. Чтобы преодолеть этот разрыв на рынке, ИЛК Дрезден работает над научно-исследовательским проектом. Целью этого проекта является разработка текстильных теплообменников, которые интегрированы в циркулирующие композитные системы и могут передавать не только ощутимое тепло, но и влагу между пространственно разделенными воздушными потоками. Функциональный принцип этих устройств основан на процессе сорбции жидкости через полупроницаемые мембраны. Текущее состояние развития будет представлено в данной работе. Также дан обзор дальнейшей работы над проектом.

**Ключевые слова:** рекуперация, теплообменный аппарат, мембрана

## Heat Exchanger with Semipermeable Membranes for Humidity Recovery

© | Krause R.  
Rosenbaum H.  
Herzog R.

ralf.herzog@ilkdresden.de

Institut für Luft- und Kältetechnik gemeinnützige Gesellschaft mbH,  
Hauptbereich Luft- und Klimatechnik, Dresden, 01309, Germany

Both the sensible heat recovery and the heat and moisture recovery are state of the art. Of particular importance is the moisture recovery in winter time, when it is necessary to organize the moisture transfer between the supply air stream which has lower moisture content and exhausts air stream with higher moisture content to get a comfortable air quality in the room. However, all on the market established systems require that supply and exhaust air crosses within the device. Practical enthalpy recovery systems for plant concepts with local separation of supply and exhaust air are not available on the market until now. In order to close this market gap, the ILK Dresden works on an R&D project. The aim is the development of textile heat exchangers, which — integrated into circulatory composite systems - can transmit not only sensible heat but also moisture between spatially separated air streams. The functional principle of this devices is based on a liquid sorption process via semipermeable membranes. The current state of the development will be presented. The outlook about how it is intended to go further in the project is given as well.

**Keywords:** heat exchanger, semipermeable membrane, humidity recovery

---

## Энтропийно-статистический анализ системы кондиционирования воздуха пассажирского самолета

© Тищенко И.В.  
Абалакин С.А.  
Меркулов В.И.  
Жаров А.А.

iv.tischenko@bmstu.ru  
sserviusst@gmail.com  
vim1935@mail.ru  
zharov\_a@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Рассматривается статическая математическая модель системы кондиционирования воздуха пассажирского самолета с регулированием влагосодержания. Работа модели рассмотрена для различных режимов работы этой системы, для каждого из которых проведен энтропийно-статистический анализ. В статье рассмотрены основные узлы схемы, проведена оценка их влияния на общую эффективность системы кондиционирования воздуха, а так же оценены достоинства приведенного метода энтропийно-статистического анализа для таких систем. Математическая модель разработана в программном комплексе Matlab Simulink.

**Ключевые слова:** СКВ, самолет, математическая модель, энтропийно-статистический анализ

## Entropy-Statistical Analysis of an Air Conditioning System for a Passenger Aircraft

© Tishchenko I.V.  
Abalakin S.A.  
Merkulov V.I.  
Zharov A.A.

iv.tischenko@bmstu.ru  
sserviusst@gmail.com  
vim1935@mail.ru  
zharov\_a@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

This article discusses a static mathematical model of an air conditioning system for a passenger aircraft with moisture control. The work of the model is considered for various modes of operation of this system, for each of which an entropy-statistical analysis is carried out. The main nodes of the scheme are considered in the article, their influence on the overall efficiency of the air conditioning system is evaluated, and the advantages of the entropy-statistical analysis method for such systems are evaluated. The mathematical model is developed in the Matlab Simulink software package.

**Keywords:** air conditioning system, airplane, mathematical model, entropy-statistical analysis

## Анализ потерь в секции смешения центрального кондиционера с помощью энтропийно-статистического метода

© | Здобнов М.И.<sup>1</sup>  
| Лавров Н.А.<sup>2</sup>  
| Шишов В.В.<sup>2</sup>

zdobnov\_m@mail.ru

lavrovna@bmstu.ru

<sup>1</sup> ООО «Эй-Си-С Консультант», Москва, 109004, Россия

<sup>2</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Представлен энтропийно-статистический анализ потерь в секции смешения центрального кондиционера. Произведен замер температуры и влажности наружного и рециркуляционного воздуха. Представлена методика определения потерь с помощью энтропийно-статистического метода, произведен расчет потерь вследствие смешения воздушных потоков в зависимости от расхода приточного и рециркуляционного воздуха и вследствие гидравлических потерь в секции смешения центрального кондиционера. Проведен сравнительный анализ полученных результатов, представлены диаграммы распределения составляющих потерь и сделаны выводы относительно пути уменьшения потерь.

**Ключевые слова:** центральный кондиционер, секция смешения, расход воздуха, наружный воздух, рециркуляционный воздух, потери, энтропийно-статистический анализ

## Analysis of Losses in the Mixing Section of a Central Air Conditioner Using the Entropy-Statistical Analysis

© | Zdobnov M.I.<sup>1</sup>  
| Lavrov N.A.<sup>2</sup>  
| Shishov V.V.<sup>2</sup>

zdobnov\_m@mail.ru

lavrovna@bmstu.ru

<sup>1</sup> "ACES Consulting" LLC, Moscow, 109004, Russia

<sup>2</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The article presents an entropy-statistical analysis of losses in the mixing section of a central air conditioner. The temperature and humidity of the outdoor and recirculating air were measured. The methodology for determining losses using the entropy-statistical method is presented in the work. The calculation of losses in the mixing section of the central air conditioner due to the mixing of air flows depending on the flow rate of the supply and recirculation air as well as due to hydraulic losses. A comparative analysis of the results is carried out and the distribution diagrams of the component losses are presented. Proposed conclusions regarding the way to reduce losses.

**Keywords:** central air conditioning, mixing section, air flow, outdoor air, recirculation air, losses, entropy-statistical analysis

## Термодинамический анализ различных исполнений комплекса для испытаний установок кондиционирования воздуха на воздействие повышенных температур окружающей среды и оценка эксплуатационных затрат

© | Сухов А.С.<sup>1</sup>  
| Хрулев А.Е.<sup>2</sup>

a.sukhov@kscgroup.ru

a.khrulev@kscgroup.ru

<sup>1</sup> ООО «КСК Инжиниринг», Тверь, 170039, Россия

<sup>2</sup> ООО «Тракс», Мытищи, 141006, Россия

Статья посвящена термодинамическому анализу нескольких вариантов исполнений испытательного комплекса для установок кондиционирования воздуха. Определена целесообразность разбиения комплекса на испытательную камеру, нагрузочную часть, герметично соединенную с охлаждающим модулем установки кондиционирования, и холодильное оборудование для обеспечения требуемой температуры в камере. После определения состава испытательного комплекса определены эксплуатационные затраты в виде потребляемой электроэнергии в процессе проведения испытаний.

**Ключевые слова:** испытания; холодопроизводительность, энергопотребление, камера, нагреватель, увлажнитель

## Thermodynamic Analysis of Different Variations of Air Conditioning System Testing Complex on Impact of Increased Ambient Temperatures and Operational Costs Evaluations

© | Sukhov A.S.<sup>1</sup>  
| Khrulev A.E.<sup>2</sup>

a.sukhov@kscgroup.ru

a.khrulev@kscgroup.ru

<sup>1</sup> KSK Engineering LLC, Tver, 170039, Russia

<sup>2</sup> Trucks LLC, Mytishchi, 141006, Russia

The article is devoted to the thermodynamic analysis of several versions of the test complex for air conditioning systems. The expediency of dividing the complex into the test chamber, the load part, that is hermetically connected with air conditioning system's cooling module, and refrigeration equipment to ensure required temperature in the chamber was determined. After determining the composition of the test complex, the operation costs were determined in the form of energy consumption during test process.

**Keywords:** tests, cooling capacity, power consumption, chamber, heater, humidifier

## Исследование свойств адсорбционных материалов для установок осушения сжатого воздуха

© | Подчуфаров А.А. podchufarov@bmstu.ru  
Жердев А.А.  
Спирина А.Н.  
Лавринов Д.А.  
Быценко Е.М.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

Сжатый воздух является энергоносителем систем жизнеобеспечения и технологических процессов в различных отраслях промышленности и транспорте. Осушка сжатого воздуха, имеет важное значение, так как наличие влаги в системе способствует быстрому разрушению аппаратуры, при низких температурах закупоривает коммуникации установок, что ведет к простоям оборудования и возникновению аварийных ситуаций, а также снижению качества технологического процесса. Развитие процессов адсорбционного осушения сжатого воздуха идет по пути снижения массогабаритных показателей установок и удельного энергопотребления, достигающегося совершенствованием технологических схем и модернизацией адсорбционного материала как с позиции состава, так и геометрической формы. Авторами работы проведены комплексные исследования статических и динамических адсорбционных свойств традиционных гранулированных адсорбентов, а также изготовленных композитных адсорбционных материалов – изделий сложной геометрической формы, понижающих точку росы более, чем на 30 °С относительно температуры окружающей среды. Установлена взаимосвязь между технологическими параметрами изготовления композитных адсорбционных материалов и их эксплуатационными свойствами, соответствующие нормативам и требованиям, при этом исключая недостатки, присущие традиционным адсорбентам.

**Ключевые слова:** сжатый воздух, осушитель, адсорбент, монолит, композит, температура точки росы

## Research of Adsorption Materials Properties for Compressed Air Drying Installations

© | Podchufarov A.A. podchufarov@bmstu.ru  
Zherdev A.A.  
Spirina A.N.  
Lavrinov D.A.  
Bytsenko E.M.

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

Compressed air is the energy carrier of life support systems and technological processes in various industries and transport. Drying of compressed air is important, as the presence of moisture in the system contributes to the rapid destruction of equipment, at low tempera-



tures, clogs communications installations, which leads to equipment downtime and the occurrence of emergencies, as well as reducing the quality of the process. The development of processes of adsorption dehumidification of compressed air is on the way to reduce the weight and size parameters of installations and specific energy consumption, which is achieved by improving the technological schemes and modernization of the adsorption material both from the position of the composition and the geometric shape. The authors of the work conducted comprehensive studies of static and dynamic adsorption properties of traditional granular adsorbents, as well as manufactured composite adsorption materials-products of complex geometric shape, reducing the dew point by more than 30°C relative to the ambient temperature. The relationship is established between the technological parameters of composite adsorption materials and their performance properties corresponding to the standards and requirements, while eliminating the disadvantages inherent in traditional adsorbents.

**Keywords:** compressed air, desiccant, adsorbent, monolith, composit, dew point temperature

## **Энергоэффективная система кондиционирования воздуха храмового комплекса**

© | Жаров А.А.  
Касаткин А.В.

zharov\_a@bmstu.ru  
kasatkinav@student.bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

Рассмотрены требования и нормы, представляемые при постройке храмового комплекса, архитектурное решение и географическое расположение строящегося объекта. Описана предлагаемая система кондиционирования воздуха (СКВ), с пневмогидравлической схемой и расчетными режимами, для летнего и зимнего периода года. Основным элементом СКВ храмового комплекса является массив тепловых труб. Эффективность установки достигается, в первую очередь, за счет рекуперации теплоты почвы в годовом цикле. Помимо этого, эффективность увеличивается за счет утилизации теплоты отбросного потока воздуха и систем рециркуляции в помещениях. В статье представлено конструктивное решение предлагаемой тепловой трубы и ее расчетные режимы работы в летний и зимний период времени, предполагаемые технические характеристики в разных режимах работы, а также варианты конструкции верхнего теплообменника. Представлена концепция расположения элементов пневмогидравлической схемы на картографическом плане застройки и их взаимной увязки с напряженностью режима работы для почвы. Последним, однако не менее важным, в статье представлена симуляция годового режима почвы, рассчитанная методом конечных элементов, выполненным в расчетной среде ANSYS.

**Ключевые слова:** кондиционирование; тепловая труба; регенератор годового цикла; энергоэффективность; почвенная тепловая труба

## Energy Efficient Condition System of Temple Complex

© | Zharov A.A.  
Kasatkin A.V.

zharov\_a@bmstu.ru  
kasatkinav@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

This article discusses the requirements and standards that are presented during the construction of the temple complex, the architectural solution and the geographical location of the object under construction. The proposed air conditioning system (ACS) is described, with a pneumatic-hydraulic circuit and design modes for the summer and winter periods of the year. The main element of the ACS of the temple complex is an array of heat pipes. The efficiency of the installation is achieved, first of all, due to the recovery of soil heat in the annual cycle. In addition, efficiency is increased by utilizing the heat of the exhaust air stream and indoor recirculation systems. The article presents a constructive solution of the proposed heat pipe and its design conditions in summer and winter time, the expected technical characteristics in different modes of operation, as well as design options for the upper heat exchanger. The concept of the location of the pneumatic-hydraulic circuit elements on the cartographic plan and their mutual coordination with the intensity of the operating mode for the soil is presented. Last but not least, the article presents a simulation of the annual soil regime calculated by the finite element method performed in the ANSYS calculation environment.

**Keywords:** air conditioning; heat pipe; annual cycle regenerator; energy efficiency; soil heat pipe

## Перспективная комбинированная система кондиционирования воздуха для железнодорожного транспорта с водо-воздушным циклом

© | Жаров А.А.  
Гаранов С.А.

zharov\_a@bmstu.ru  
garanovsa@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

Целью работы является поиск энергоэффективной схемы системы кондиционирования воздуха для железнодорожного транспорта, использующей только экологически безопасные, природные рабочие вещества воздух и воду. Искомая система должна быть энергоэффективной не только в засушливом, но и во влажном климате. Известны решения с косвенно-испарительным охлаждением при пониженном давлении вспомогательного потока с дросселем. Значительно более энергетически эффективно использовать вместо дросселя детандер, отдающий работу расширения нагнетателю вспомогательного потока. Проведенные исследования подтвердили высокую эффективность детандерной схемы при высоком влагосодержании воздуха окружающей среды, однако в более сухих климатических условиях эффективность ощутимо снижается. В работе была предложена комбинированная схема, представляющая собой схему с детандером перед которым дополнительно установлен увлажнитель, вода в который

подается из существующего расходного бака вагона. Расчеты показали, что увлажнение вспомогательного потока перед детандером позволяет увеличить максимально допустимое давление за детандером и увеличить температурный напор в теплообменнике. Что приводит к снижению потребляемой мощности и габаритов кондиционера за счет уменьшения требуемой площади рекуперативного теплообменника.

**Ключевые слова:** кондиционирование, энергоэффективность, экологичность, косвенно-испарительное охлаждение, водо-воздушный цикл

## Advanced Combined Air Conditioning System for Railway Transport with Air-Water Cycle

© | Zharov A.A.  
Garanov S.A.

zharov\_a@bmstu.ru  
kasatkinav@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The aim of the work is to search for an energy-efficient scheme of an air conditioning system for railway transport, using only environmentally friendly, natural working substances such as air and water. The desired system should be energy efficient not only in arid, but also in humid climates. There are known solutions with indirect evaporative cooling at reduced pressure auxiliary flow with a throttle. It is much more energy-efficient to use an expander instead of a throttle, giving the expansion work to the auxiliary flow supercharger. The studies have confirmed high efficiency of the expander scheme with high moisture content of the ambient air, but in drier climatic conditions its efficiency is significantly reduced. In the work a combined scheme has been proposed, which is a scheme with an expander in front of which an additional humidifier is installed, in which water is supplied from the existing supply tank of the coach. Calculations have showed that humidification of the auxiliary flow in front of the expander allows to increase the maximum allowable pressure behind the expander and increase the temperature head in the heat exchanger. This leads to a decrease in power consumption and dimensions of the air conditioner by reducing the required area of the regenerative heat exchanger.

**Keywords:** air conditioning, energy efficiency, environmental friendliness, indirect evaporative cooling, water-air cycle

## Создание динамической модели для отработки контура регулирования температуры в системе кондиционирования воздуха самолета

© | Тищенко И.В.  
Лавров Н.А.  
Хуциева С.И.

iv.tischenko@bmstu.ru  
lavrovna@bmstu.ru  
khutsieva.sofia2012@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

Рассмотрен контур регулирования температуры рабочего воздуха после теплообменного аппарата. Контур регулирования состоит из теплообменного аппарата, регулируемого воздухозаборника, вентилятора, датчика температуры и регулятора температуры. Создана динамическая модель контура с учетом системы автоматического регулирования. Рассмотрены переходные процессы, возникающие в контуре вследствие изменения высоты полета самолета. Получены результаты изменения температуры рабочего воздуха в точке регулирования температуры. Проведена оптимизация коэффициентов регулятора. Подобраны оптимальные коэффициенты регулятора.

**Ключевые слова:** СКВ, самолет, динамическая модель

## Creating a Dynamic Model for Testing the Temperature Control Loop in an Air Conditioning System

© | Tishchenko I.V.  
Lavrov N.A.  
Khutsieva S.I.

iv.tischenko@bmstu.ru  
lavrovna@bmstu.ru  
khutsieva.sofia2012@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 1005005, Russia

The article considers the contour of regulating the temperature of the working air after the heat exchanger. The control loop consists of a heat exchanger, an adjustable air intake, a fan, a temperature sensor and a temperature controller. A dynamic model of the circuit was created taking into account the automatic control system. Transient processes occurring in the circuit due to changes in the flight altitude of the aircraft are considered. The results of changes in the temperature of the working air at the temperature control point are obtained. The optimization of the coefficients of the controller. The optimal regulator coefficients are selected.

**Keywords:** air conditioning system, airplane, dynamic model

## Сравнение характеристик спиральных компрессоров для применения в воздушных тепловых насосах

© Шунгаров Э.Х.  
Гаранов С.А.

schungarov.eduard@yandex.ru  
garanov-sergey@yandex.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

При прочих равных условиях эффективность тепловых насосов выше в системах с умеренными температурными уровнями потребителей теплоты. Наиболее перспективными являются низкотемпературные системы отопления и системы горячего водоснабжения. Низкотемпературные тепловые насосы воздух-вода состоят из контура, по которому циркулирует хладагент, испарителя, конденсатора и компрессора. Выбор спирального компрессора для низкотемпературного теплового насоса определяется его рабочими характеристиками. К ним относятся изэнтропный КПД компрессора, коэффициент подачи и степень сжатия компрессора. Для демонстрации / подтверждения приведенных характеристик спиральных компрессоров проведено исследование изменений характеристик компрессоров трех производителей: Copeland, Danfoss и Invotech — низкотемпературных спиральных компрессоров ZF15K4T-TFD, LLZ015T4A, YF35E1G-100 и среднетемпературных спиральных компрессоров YM70E1G-100, ZB-29-KCE-TFD, MLZ-030-T4. Изменение характеристик компрессоров низкотемпературных спиральных компрессоров проводилось в температурном диапазоне кипения хладагента от  $-10$  до  $-40$  °С, а среднетемпературных спиральных компрессоров — в диапазоне от  $0$  до  $-30$  °С. Определялась зависимость изэнтропного КПД и коэффициента подачи спирального компрессора от степени сжатия.

**Ключевые слова:** воздушный тепловой насос, спиральный компрессор, изэнтропный (адиабатный) КПД, коэффициент подачи, степень сжатия компрессора

## Comparison of Scroll Compressor Characteristics for Use in Air Heat Pumps

© Shungarov E.X.  
Гаранов С.А.

schungarov.eduard@yandex.ru  
garanov-sergey@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The article considers the contour of regulating the temperature of the working air after the The efficiency of heat pumps is higher in systems when moderate temperature levels equal temperature levels of heat consumers. The most promising are low-temperature heating systems and hot water systems. Air-water low temperature heat pumps consist of a circuit that circulates refrigerant, an evaporator, a condenser, and a compressor. The choice of scroll compressor for a low temperature heat pump is determined by its working parameters. They include the isentropic efficiency of the compressor, the feed rate and the pressure ratio of the compressor. To demonstrate the given characteristics of scroll compressors, we studied the changes in the characteristics of compressors of three manufacturers: Copeland,

Danfoss and Invotech — low-temperature scroll compressors ZF15K4T-TFD, LLZ015T4A, YF35E1G-100 and middle-temperature scroll compressors YM70E1G-100, ZB-29-KCE MLZ-030-T4. The characteristics of low-temperature scroll compressors were changed in the temperature range of the refrigerant boiling from  $-10$  to  $-40$  °C, and middle-temperature scroll compressors in the range from  $0$  to  $-30$  °C. The dependence of isentropic efficiency and the flow coefficient of the scroll compressor on the compression ratio was determined.

**Keywords:** air heat pump, scroll compressor, isentropic (adiabatic) efficiency, feed coefficient, compressor pressure ratio

## Сравнительный анализ методов расчета внешнего теплообмена для скафандра солнечного самолета

© Резанов Е.А.  
Меркулов В.И.  
Россова К.В.  
Тищенко И.В.

rezanow.egor@yandex.ru  
merkulov@bmstu.ru  
ksen.rossova2011@yandex.ru  
iv.tischenko@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

Приведена оценка внешней тепловой нагрузки на систему жизнеобеспечения солнечного самолета при экстремальных условиях эксплуатации. Расчет проводился для максимально и минимально возможных тепловых потоков в ключевых точках полета воздушного судна. В данной работе в качестве расчетных были приняты условия на поверхности Земли и на рабочей высоте полета летательного аппарата. Была выявлена зависимость количественного изменения тепловой нагрузки на воздушное судно от высоты полета с учетом изменения теплофизических свойств окружающей среды и механизмов передачи тепла.

**Ключевые слова:** возобновляемые источники энергии, солнечный самолет, скафандр, система жизнеобеспечения, теплоприток, тепловой баланс

## Comparative Analysis of Calculating External Heat Transfer Methods for a Solar Aircraft Suit

© Rezanov E.A.  
Merkulov V.I.  
Rossova K.V.  
Tishchenko I.V.

rezanow.egor@yandex.ru  
merkulov@bmstu.ru  
ksen.rossova2011@yandex.ru  
iv.tischenko@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

This article presents an assessment of the external thermal load on the life support system of a solar aircraft under extreme operating conditions. The calculation was carried out for the maximum and minimum possible heat flows in the key points of the aircraft flight. In

this article the conditions on the Earth's surface and at the operating altitude of the aircraft were taken as calculated. The dependence of the quantitative changes in the heat load on the aircraft from altitude was revealed, taking into account changes of thermal properties of the environment and mechanisms of heat transfer.

**Keywords:** renewable energy sources, solar plane, spacesuit, life support system, heat gain, heat balance

## Количественная оценка потерь азота в атмосфере герметично замкнутого обитаемого объекта

© | Артемьев О.Г.  
Казакова А.А.  
Никифоров Ю.В.

kazakova@bmstu.ru  
yr\_nik@rambler.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

Обеспечение газового состава атмосферы герметично замкнутых объемов объектов специального назначения является одной из основных задач для нормальных условий работы персонала этого объекта. При длительной эксплуатации космических объектов очистка атмосферы от углекислого газа и паров воды, выделяемых персоналом объекта, выполняется системой СОГС (системой обеспечения газового состава) на твердых регенерируемых поглотителях. При регенерации адсорбента объем газа, содержащийся в «мертвом» объеме аппарата, использовать в дальнейшем невозможно. В случае продолжительной непрерывной работы персонала, объем теряемых компонентов атмосферы в процессе регенерации будет достаточно значительным. Например, один человек в год выделяет примерно  $175 \text{ м}^3$  углекислого газа. Для поглощения такого объема углекислого газа из воздуха, циркулирующего через слой адсорбента (цеолит типа СаА), необходимо более 2387 кг или  $3,32 \text{ м}^3$  адсорбента. В этом случае оценка потери объема воздуха, используемого для дыхания за один год, составит более  $1,41 \text{ м}^3$ . При отсутствии компенсации теряемого в процессе регенерации адсорбента нейтрального газа (азота) в атмосфере герметичного объекта будет происходить плавное снижение общего давления компонентов атмосферы объекта и повышение объемной доли кислорода в его составе.

**Ключевые слова:** азот, газовый состав атмосферы, герметичный объект, регенерируемые поглотители

## Quantitative Estimation of Nitrogen Losses in the Atmosphere of a Germetically Closed Inhabited Object

© | Artemyev O.G.  
Kazakova A.A.  
Nikiforov Yu.V.

kazakova@bmstu.ru  
yr\_nik@rambler.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

Ensuring the gas composition of the atmosphere of hermetically sealed volumes of special facilities is one of the main tasks for normal working conditions of the facility personnel. During the long-term operation of space objects, the atmosphere is cleaned of carbon dioxide and water vapor emitted by the facility's personnel by the GCSS system (gas composition support system) on solid regenerated adsorbents. During regeneration of the adsorbent, the volume of gas contained in the "dead" volume of the apparatus cannot be used in the future. In the case of continuous work of personnel, the amount of lost atmospheric components during the regeneration process will be quite significant. For example, one person emits approximately 175 m<sup>3</sup> of carbon dioxide per year. To adsorb this volume of carbon dioxide from the air circulating through the adsorbent layer (CaA type zeolite), more than 2387 kg or 3.32 m<sup>3</sup> of adsorbent are required. In this case, the estimate of the loss in the volume of air used for breathing in one year will be more than 1.41 m<sup>3</sup>. In the absence of compensation of the neutral gas (nitrogen) lost during the adsorbent regeneration in the atmosphere of a sealed object, there will be a gradual decrease in the total pressure of the atmospheric components of the object and an increase in the volume fraction of oxygen in its composition.

**Keywords:** nitrogen, atmospheric gas composition, hermetic object, regenerable adsorbents

## Особенности математического моделирования систем вентиляции и кондиционирования зрелищных и спортивных залов

© | Колосов М.А.  
Егоров К.С.  
Маластовский Н.С.  
Новицкий Б.Б.

kolosov@bmstu.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

Одним из современных направлений использования высокопроизводительной компьютерной техники (суперкомпьютеров) является численное моделирование сложных физических и термодинамических процессов, протекающих в просторных помещениях концертных залов и на спортивных аренах при их отоплении, вентиляции и кондиционировании. Российские технические требования на строительство предписывают на этапе проектирования подобных систем проводить математическое моделирование их работы. Многообразие проблем и требований, существующих при этом, сложность понимания физических процессов и необходимость принятия неор-



динарных решений – все это встречается при проведении подобных работ. В статье кратко описан опыт моделирования систем вентиляции и кондиционирования таких объектов, как концертные залы Большого Кремлевского дворца и Московской консерватории им. П.И. Чайковского, концертного зала филармонии в парке Зарядье и крытой ледовой арены.

**Ключевые слова:** теплообмен, численное моделирование, система вентиляции, проектирование, концертный зал

## Numerical Modeling of Ventilation and Air Conditions Systems of Large Sport and Culture Centres

© | Kolosov M.A.  
| Egorov K.S.  
| Malastovsky N.S.  
| Novitsky B.B.

kolosov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

One of the most promising applications of highly effective computer technology (supercomputers) is numerical simulation of complex physical and thermophysical processes occurring in vast areas of concert halls and sport arenas while heating, ventilating and air-conditioning. According to Russian technical standards for building construction, numerical modeling of these systems should be carried out on the stage of their design. The variety of problems and demands, lack of understanding of the physical process involved and the necessity to make genuine decisions are encountered while conducting such a work. The experience in modeling of ventilation and airconditioning systems of Bolshoi Krenlevskiy Palace concert halls and the Moscow Conservatory named after P.I. Chaikovskiy, Zaryadie Park Philharmony concert hall and a covered ice rink arena is described.

**Keywords:** heat transfer, numerical modeling, ventilation system, design, concert hall

## Увеличение эффективности поглощения диоксида углерода при длительных автономных полетах космических аппаратов методом имитационного моделирования

© | Левченко А.В.  
| Казакова А.А.  
| Никифоров Ю.В.

lavlav0692@gmail.com  
kazakova@bmstu.ru  
yr\_nik@rambler.ru

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

С целью увеличения поглощения диоксида углерода при длительных автономных полетах космических аппаратов представлено моделирование процесса десорбции диоксида углерода при вакуумной откачке слоя адсорбента с учетом влияния теплоты адсорбции/десорбции влаги, в результате чего определено изменение температу-

ры по слою адсорбента в зависимости от времени процесса. По изотермам адсорбции с учетом кинетических коэффициентов и изменения парциального давления, рассчитаны изменения концентрации в газовой фазе (адсорбтив) и в адсорбате (адсорбированная влага) по длине адсорбера. Наряду с адсорбцией и десорбцией учитывался, естественно, и нагрев газа при сжатии во время заполнения и охлаждение при сбросе давления. Моделирование процесса осуществлено с помощью программы “Aspen Adsim”, которая позволяет выполнять поверочные расчеты различных адсорбционных систем с однослойными и многослойными адсорберами. Посредством этой программы стало возможным исследование влияния конструктивных и технологических параметров на эффективность работы и оптимизацию рассчитываемой системы. Использование рассматриваемой программы позволило отказаться от экспериментов на стендах при разработке новых схем и комбинаций адсорбционных устройств.

**Ключевые слова:** диоксид углерода, газовый состав атмосферы, герметичный объект, адсорбция

## Increasing the Efficiency of Carbon Dioxide Adsorption during Long-Term Autonomous flights of Spacecraft by Simulation

© | Levchenko A.V.  
| Kazakova A.A.  
| Nikiforov Yu.V.

lavlav0692@gmail.com  
kazakova@bmstu.ru  
yr\_nik@rambler.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

In order to increase the adsorption of carbon dioxide during long-term autonomous flights of spacecraft, a simulation of the process of carbon dioxide desorption during vacuum pumping of the adsorbent layer is presented taking into account the influence of the heat of adsorption / desorption of moisture, as a result the temperature change over the adsorbent layer depending on the process time is determined. Based on adsorption isotherms, taking into account kinetic coefficients and changes in partial pressure, the concentration changes in the gas phase (adsorbent) and in the adsorbate (adsorbed moisture) along the length of the adsorber are calculated. Along with adsorption and desorption, naturally, gas heating during compression during filling and cooling during pressure relief were taken into account. Modeling of the process was carried out using the program “Aspen Adsim” which allows to perform verification calculations of various adsorption systems with single-layer and multi-layer adsorbers. Through this program, it became possible to study the influence of design and technological parameters on the efficiency and optimization of the calculated system. Using the program in question allowed us to abandon experiments at the stands when developing new schemes and combinations of adsorption devices.

**Keywords:** carbon dioxide, atmospheric gas composition, hermetic object, adsorption

## Исследование характеристик приточных струй в кондиционируемых помещениях

© | Кареева Ю.Р.  
Посохин В.Н.  
Сафиуллин Р.Г.  
Близнякова К.А.

jkareeva2503@gmail.com

Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, 420043, Россия

Исследуется течение приточных струй в кондиционируемых помещениях разной длины. Решение проводится численным методом с помощью программного комплекса Fluent. Условия истечения во всех рассматриваемых случаях одинаковые. В результате получены зависимости основных кинематических и геометрических характеристик струй (ширина и дальность струи, профили продольной скорости, а также осевая скорость, средняя скорость обратного потока, расходы в сечениях прямого и обратного потоков, распределение статического давления по длине струи) от параметров продольного стеснения (длины помещения). Результаты вычислений представлены в виде поправок к характеристикам свободной струи, учитывающих влияние продольного стеснения. Найдено, что влияние архимедовых сил на распределение температуры по длине неизотермической струи незначительно. Определена зависимость безразмерной температуры на оси струи от безразмерной длины помещения координаты. Полученные результаты могут быть использованы при расчете циркуляции воздушных масс в кондиционируемых помещениях разного назначения.

**Ключевые слова:** неизотермическая струя, кондиционируемое помещение, характеристики течения, параметр стеснения

## Study of Airflow Characteristics in the Air-Conditioned Room

© | Kareeva J.R.  
Posohin V.N.  
Safiullin R.G.  
Bliznyakova K.A.

jkareeva2503@gmail.com

Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, 420043, Russia

The research deals with airflow supply in the air-conditioned room which has different lengths. The solution is calculated by numerical method in Fluent. Inflow conditions are equal in all cases. As a result, dependences of main kinematic and geometric jet's characteristics (width and range of jet, profile of longitudinal velocity, axial velocity, average velocity of back flow, consumption in straight and back flows, distribution of static pressure on the length of jet) on longitudinal constrained parameter are determined (length of room). It was found that influence of Archimedes forces on the length of non-isothermal jet is inconsequential. Dependence of dimensionless temperature on the jet axis of dimensionless

length of the room of the coordinate is determined. The results can be used in calculation of airflow circulation in different purpose air-conditioned rooms.

**Keywords:** non-isothermal jet, air-conditioned room, jet's characteristics, constrained parameter

## Холодопроизводительность радиационной системы кондиционирования воздуха в летний период

© | Карагусов В.И.<sup>1</sup>  
| Погуляев И.Н.<sup>2</sup>

karvi@mail.ru  
aimtcoin@gmail.com

<sup>1</sup> ОмГТУ, Омск, 644050, Россия

<sup>2</sup> АО НТК «Криогенная техника», Санкт-Петербург, 198303, Россия

Системы жизнеобеспечения жилых, офисных и производственных помещений и в первую очередь отопление и кондиционирование воздуха повышают условия жизни и работы человека. Системы жизнеобеспечения могут быть построены на различных принципах. Перспективным методом организации системы жизнеобеспечения является радиационное охлаждение, которое относится к экологически чистым и восстанавливаемым источникам энергии. К достоинствам радиационного кондиционирования воздуха следует отнести их независимость от традиционных невозобновляемых источников энергии, таких как электрическая и тепловая. Такие системы кондиционирования рационально размещать в отдаленной и малонаселенной местности. В радиационных системах жизнеобеспечения может быть реализована следующая технология: в ночное время радиационный охладитель захлаживает аккумулятор холода за счет излучения теплоты в небо, которое имеет температуру ниже температуры воздуха у поверхности земли. Дополнительно для захлаживания аккумулятора холода может быть использован наружный ночной воздух, который заметно холоднее дневного. Холод из аккумулятора кондиционирует воздух в помещениях. Для экспериментальных исследований по определению возможностей радиационного охлаждения разработан и смонтирован экспериментальный стенд, который был размещен на достаточном удалении от крупных населенных пунктов. Проведенные экспериментальные исследования показали, что удельная холодопроизводительность радиационного кондиционера воздуха составляет 50...70 Вт/м<sup>2</sup> для летнего периода в условиях юга Западной Сибири. В этих условиях для системы кондиционирования воздуха с холодопроизводительностью 4...7 кВт, которой вполне достаточно для жилых помещений небольшого коттеджа, необходим радиационный охладитель площадью около 100 м<sup>2</sup>, размещенный на одном из скатов крыши. В более крупных строениях для увеличения холодопроизводительности радиационные охладители могут занимать два или четыре ската крыши в зависимости от ее типа.

**Ключевые слова:** кондиционирование воздуха, система жизнеобеспечения, возобновляемая энергия, радиационное охлаждение

## Cooling Capacity of a Summer Air Conditioning Radiation System

© | Karagusov V.I.<sup>1</sup>  
| Poguljaev I.N.<sup>2</sup>

karvi@mail.ru  
aimtcoin@gmail.com

<sup>1</sup> Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russia

<sup>2</sup> JSC NTK "Cryogenic Technique", St. Petersburg, 198303, Russia

The life support systems of residential, office and industrial premises and, first of all, heating and air conditioning increase the living and working conditions of a person. Life support systems can be built on various principles. A promising method of organizing a life support system is radiation cooling, which refers to environmentally friendly and renewable energy sources. The advantages of radiation air conditioning include their independence from traditional non-renewable energy sources, such as electrical and thermal. Such air conditioning systems are rationally placed in a remote and sparsely populated area. The following technology can be implemented in radiation life support systems: at night, a radiation cooler cools the cold accumulator by radiating heat to the sky, which has a temperature below the temperature of the air at the surface of the earth. Additionally, outside night air, which is noticeably colder than daylight, can be used to cool the cold accumulator. The cold from the battery conditions the air in the rooms. For experimental studies to determine the possibilities of radiation cooling, an experimental stand was developed and mounted, which was placed at a sufficient distance from large settlements. Experimental studies have shown that the specific cooling capacity of a radiation air conditioner is 50...70 W/m<sup>2</sup> for the summer period in the conditions of the south of Western Siberia. Under these conditions, for an air conditioning system with a cooling capacity of 4...7 kW, which is quite enough for the living quarters of a small cottage, a radiation cooler with an area of about 100 m<sup>2</sup>, located on one of the roof slopes, is required. In larger buildings, to increase cooling capacity, radiation coolers can occupy two or four roof slopes, depending on its type.

**Keywords:** air conditioning, life support system, renewable energy, radiation cooling

## Повышение эффективности фильтров с коротким диффузором для систем кондиционирования и жизнеобеспечения

© | Филькин Н.Ю.  
| Аистов И.П.

finick@inbox.ru

ОмГТУ, Омск, 644050, Россия

Рассмотрен вопрос повышения эффективности воздушных фильтров с коротким диффузором с точки зрения критериев газодинамической эффективности. Проанализированы существующие конструкции фильтров с коротким диффузором, выявлены их конструктивные недостатки, приводящие к возникновению неравномерности профиля поля скоростей в проточной части фильтров и влияющие на эффективность очистки. Предложено устранение указанных недостатков путем установки концентрических направляющих в проточную часть короткого диффузора фильтра, разрабо-

тана инженерная методика расчета таких направляющих. Для оценки предложенного решения проведены сравнительные численные и экспериментальные исследования базовой и усовершенствованной конструкций фильтров, доказавшие работоспособность установки направляющих. В результате достигнуто выравнивание профиля поля скоростей в проточной части фильтра и, как следствие, повышение эффективности фильтров с коротким диффузором в части снижения аэродинамического сопротивления на 10 % и уменьшения толщины фильтрующего слоя на 30 %.

**Ключевые слова:** фильтр, короткий диффузор, направляющие, эффективность

## Improving the Efficiency of Filters with a Short Diffuser for Air Conditioning and Life Support Systems

© | Filkin N.Yu.  
| Aistov I.P.

finick@inbox.ru

Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russia

The issue of increasing the efficiency of air filters with a short diffuser from the point of view of the criteria of gasdynamic efficiency is considered. Existing filter designs with a short diffuser are analyzed, their design drawbacks are identified, leading to the appearance of a non-uniform velocity field profile in the flow part of the filters and affecting the cleaning efficiency. It is proposed to eliminate these drawbacks by installing concentric guides in the flow part of the short filter diffuser, an engineering methodology for calculating such guides is developed. To evaluate the proposed solution, comparative numerical and experimental researches of the basic and improved filter designs were carried out, which proved the installation of the guides. As a result, the alignment of the velocity field profile in the flow part of the filter was achieved and, as a result, the efficiency of filters with a short diffuser was improved in terms of reducing aerodynamic drag by 10 % and decreasing the thickness of the filter layer by 30 %.

**Keywords:** filter, short diffuser, guides, efficiency

## Определение твердых примесей в воздухе

© | Сергиянский Е.В.<sup>1</sup>  
| Николаев В.Г.<sup>2</sup>  
| Казакова А.А.<sup>1</sup>

sls\_sls30@rambler.ru  
nikolaev@arcticsu.ru  
2367817@mail.ru

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 1005005 Россия

<sup>2</sup> Мурманский арктический государственный университет филиал в г. Апатиты, Апатиты, 184209, Россия

В настоящее время загрязнение атмосферного воздуха является одной из главных проблем современной экологической обстановкой в мире. Концентрация твердых частиц служит часто используемым показателем уровня загрязнения воздуха. Одним

из методов мониторинга различных примесей в воздухе служит накопление их ионов в воде. Для этого бралась деионизированная вода и насыщалась уличным воздухом в течение двух часов с расходом в 2 л/мин. Эксперимент проводился 27 октября 2019 г. С помощью сайта <https://earth.nullschool.net> было определено направление ветра, а именно с города Мончегорска, который находится севернее местоположение эксперимента. Результаты проб на железо были получены на атомно-абсорбционном спектрофотометре Shimadzu и составили 9 мкг/л. В дальнейшем планируются сравнительные эксперименты, а также использование различных адсорбентов.

**Ключевые слова:** концентрация твердых частиц, ионы железа, вода, атомно-абсорбционный анализ

## Determination of Solid Impurities in the Air

© | Sergiyansky E.V.<sup>1</sup>

| Nikolaev V.G.<sup>2</sup>

| Kazakova A.A.<sup>1</sup>

sls\_sls30@rambler.ru

nikolaev@arcticsu.ru

2367817@mail.ru

<sup>1</sup> BMSTU, Moscow, 105005, Russia

<sup>2</sup> Murmansk Arctic State University branch in Apatity, Apatity, 184209, Russia

Currently, air pollution is one of the main problems of the modern environmental situation in the world. Particulate matter concentration is a dient often used indicator of air pollution levels. One of the monitoring methods is that they are in the water. For this was taken deionized water was taken and saturated with street air for two hours at a flow rate of 2 l/min. The experiment was conducted on October 27, 2019. Using the site <https://earth.nullschool.net>, the wind direction was determined, namely from the city of Monchegorsk, which is located north of the location of the experiment. Sample results for iron were obtained on an atomic-absorption spectrophotometer “Shimadzu” and made up to 9 mkg/l. In the future, planned is experiments comparative, s well as the use of various adsorbents.

**Keywords:** concentration of solid particles, iron ions, water, atomic-absorption analysis