
Секция 2. Холодильная техника

Эффективность безмашинных холодильно-нагревательных аппаратов, работающих в условиях природного газа высокого давления

© | Бондаренко В.Л.¹
| Симоненко Ю.М.²
| Тишко Д.П.¹

vbondarenko@raregases.org

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

² Одесская национальная академия пищевых технологий,
Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики
имени В.С. Мартыновского, Одесса, 65039, Украина

Рассмотрены схемы на основе газодинамических аппаратов, предназначенные для осушки природного газа и обогрева элементов арматуры. Представлена методика оценки эффективности охладителей эксплуатируемых в условиях реальных газов при повышенных давлениях. Сопоставлены характеристики аппаратов, работающих на азоте и метане при одинаковых начальных параметрах потока на входе в сопловой ввод. Приведены схемы установок, в которых за счет эксэргии сжатого природного газа происходит одновременное охлаждение и нагрев объектов. Показано влияние масштабного фактора на температурные характеристики газодинамических устройств.

Ключевые слова: природный газ, газодинамическое устройство, вихревая труба

Efficiency of Machine-Free Refrigeration-Heating Devices Operating in High-Pressure Natural Gas

© | Bondarenko V.L.¹
| Symonenko Yu.M.²
| Tyshko D.P.¹

vbondarenko@raregases.org

¹ BMSTU, Moscow, 105005, Russia

² Odessa National Academy of Food Technologies, Institute of Refrigeration Cryotechnology
and Ecoenergetics n.a. V.S. Martynovsky, Odessa, 65039, Ukraine

The schemes are considered on the basis of gas-dynamic apparatuses intended for drying natural gas and heating valve elements. A methodology for evaluating the effectiveness of chillers operated in real gas at elevated pressures is presented. The characteristics of devices operating on nitrogen and methane are compared for the same initial flow parameters at the inlet to the nozzle input. The plant diagrams are given in which due to the exergy of

compressed natural gas, objects are simultaneously cooled and heated. The installation diagrams are given in which due to the exergy of compressed natural gas, objects are simultaneously cooled and heated. The influence of the scale factor on the temperature characteristics of gas-dynamic devices is shown.

Keywords: natural gas, gas-dynamic device, vortex tube

Сопоставление возможностей тестирования и необходимых экспериментов для работы парокompрессионных холодильных циклов в условиях микрогравитации

© | Брендель Л.П.М.
Браун Д.Е.
Гролл Э.А.

brendel@purdue.edu
jbraun@purdue.edu
groll@purdue.edu

Лаборатории Рэя У. Херрика, Школа машиностроения, Университет Пердью,
Вест Лафайет, 47907-2099, США

В течение пятидесяти лет наблюдается интерес к ПКХМ для космических аппаратов, но можно сделать очень мало выводов о результатах исследований этого вопроса либо из-за несистематических подходов, либо из-за слабо документированных экспериментов. В противоположность этому, спрос на охлаждение и заморозку с высоким коэффициентом преобразования увеличивается с планированием длительных полетов в космос. Необходимо начать использовать все имеющиеся возможности эксперимента для исследования двухфазных циклов в условиях микрогравитации. Эта статья перечисляет соответствующие возможности с их характеристиками и ставит открытые вопросы относительно парокompрессионных циклов в космосе. Необходимые эксперименты основаны на нерешенных вопросах и соответствуют возможностям современного технического уровня, чтобы описать путь к надежному, предсказуемому и высокоэффективному охлаждению на космическом корабле.

Ключевые слова: парокompрессионный цикл, охлаждение, эксперименты, невесомость, микрогравитация

Matching Testing Possibilities and Needed Experiments for Successful Vapor Compression Cycles in Microgravity

© | Brendel L.P.M.
Braun J.E.
Groll E.A.

brendel@purdue.edu
jbraun@purdue.edu
groll@purdue.edu

Ray W. Herrick Laboratories, School of Mechanical Engineering, Purdue University,
West Lafayette, 47907-2099, USA

The literature shows five decades of interest in vapor compression cooling for spacecraft, but only very few conclusions can be drawn because of either non-systematic approaches or sparsely documented experiments. In contrast to that, the demand for high COP refrigera-

tion and freezing is increasing with long manned space travel being planned. Research should start to exploit all available testing opportunities to investigate two-phase cycles in microgravity environments. This paper lists relevant testing possibilities with their characteristics and poses open questions regarding vapor compression cycles in space. Needed experiments are derived from the open questions and matched with the testing possibilities to describe a path towards reliable, predictable and highly efficient refrigeration on space craft.

Keywords: vapor compression cycle, refrigeration, experiments, zero-G, micro-gravity

Особенности схем регулирования температуры в термоэлектрических холодильниках

© | Поляков И.А.
Петров В.В.

hsh05@yandex.ru
bestprofile@yandex.ru

ВНИИХИ — филиал ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН,
Москва, 127422, Россия

Рассмотрены особенности двухпозиционных схем регулирования температуры в термоэлектрических холодильниках, предназначенных для хранения продуктов питания. Представлен способ экспериментального определения так называемого тока паузы и результаты применения схемы регулирования с его использованием на примере термоэлектрического холодильника ТЭХ-0,12.

Ключевые слова: термоэлектрический холодильник, ток паузы, термоэлектрический модуль, схемы регулирования температуры

Special Aspects of Temperature Adjustment in Thermoelectric Refrigerators

© | Polyakov I.A.
Petrov V.V.

hsh05@yandex.ru
bestprofile@yandex.ru

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry — Branch of V.M. Gorbatov
Research Center for Food Systems, RAS, Moscow, 127422, Russia

The peculiarities of two-position temperature control circuits in thermoelectric refrigerators designed for food storage are considered. A method for the experimental determination of the so-called pause current and the results of applying a control circuit using it using the example of a thermoelectric refrigerator “ТЭХ-0.12” are presented.

Keywords: thermoelectric refrigerator, pause current, thermoelectric module, temperature control circuits

Создание ключевой технологии защиты от коррозии и профилактики накипеобразования испарительных конденсаторов холодильных систем

© | Галкин М.Л.

info@splast.ru

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

Предложен и реализован принципиально новый способ ингибирования коррозии и накипных отложений на поверхности испарительных конденсаторов, который заключается в упаковке молекул ингибитора в капсулы из хелатных соединений. Капсулирование ингибитора позволяет повысить эффективность широкого спектра ингибиторов коррозии в борьбе с коррозией металлов.

Ключевые слова: холодильное оборудование, испарительные конденсаторы, коррозия, ингибиторы, очистка накипи, отложения

Development of an Advanced Technology for Corrosion Protection and Prevention of a Scale Formation of Evaporative Condensers of Refrigerating Systems

© | Galkin M.L.

info@splast.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

A brand new method of inhibiting corrosion and scale on a surface area of evaporative condensers, which consists in packing inhibitor molecules in capsules of chelated compounds, is proposed and implemented. Encapsulation of the inhibitor can increase the effectiveness of a wide range of corrosion inhibitors in the fight against corrosion.

Keywords: cooling equipment, evaporative condenser, corrosion, inhibitors, scale removing, deposits

Эффективность работы холодильного оборудования на природных хладагентах

© | Шишов В.В.

shishov@bmstu.ru

| Талызин М.С.

talyzin@bmstu.ru

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

Произведено исследование потерь холодильных установок предприятий пищевой промышленности с двумя рабочими температурными уровнями (температуры кипения хладагента минус 35 °С и минус 10 °С), работающих с природными холодильными агентами CO₂ и R290 энтропийно-статистическим методом термодинамического анализа. Проведено сравнение потерь и эффективности работы холодильной

установки, работающей по транскритическому циклу CO₂ с воздушным охлаждением охладителя газа с холодильной установкой, работающей по одноступенчатому циклу с однократным дросселированием и жидкостным охлаждением конденсатора, с R290 в качестве хладагента. Приводятся принципиальные схемы рассматриваемых установок, диаграммы распределения потерь по элементам, значения холодильного коэффициента и степени термодинамического совершенства. Результаты анализа позволили определить пути совершенствования холодильных установок предприятий пищевой промышленности с использованием природных хладагентов.

Ключевые слова: энтропийно-статистический метод анализа, эффективность, природные хладагенты, CO₂, пропан

The Efficiency of the Refrigeration Equipment to Natural Refrigerants

© | Shishov V.V.
Talyzin M.S.

shishov@bmstu.ru
talyzin@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The investigation of losses in refrigeration plants applied in food industry with two working temperature levels (evaporation temperature minus 35 °C and minus 10 °C) on nature refrigerants CO₂ and R290 was made by using entropic and statistical method of the analysis. The comparison of losses and efficiency for transcritical refrigeration plant with air cooled gas cooler and CO₂ as refrigerant, cascade refrigeration plant with R134a in high cascade stage and CO₂ in low cascade stage and refrigeration plant working on one stager cycle and water cooled condenser with R290 was made. The principle diagrams, diagram of losses by refrigeration plants elements, COP and the degree of thermodynamic efficiency were given. Results of the analysis shown prospects of application refrigeration plants with R290 as refrigerant and allowed to determine ways of improvements of refrigeration plants applied in food industry by using nature refrigerants.

Keywords: entropic and statistical method of analysis, efficiency, nature refrigerants, CO₂, propane

Парокомпрессионные холодильные машины с переохлаждением жидкого хладагента после конденсатора

© | Колосов М.А.
Борисенко А.В.

kolosov@bmstu.ru
borart@bmstu.ru

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

Исследуется влияние переохлаждения жидкого хладагента после конденсатора внешней средой (внешнего переохлаждения) на эффективность одноступенчатой парокомпрессионной холодильной машины (ПКХМСП). Для оценки эффективности подобных циклов часто используется цикл Карно, что приводит к завышению пока-

зателей эффективности и исключает объективный анализе потерь в элементах ПКХМсП. Критерии эффективности подобного цикла должны учитывать изменение температуры (эксергии) внешней среды, используемой для переохлаждения. В статье обоснован вид эталонного цикла ПКХМсП с постоянной температурой конденсации и последующим внешним переохлаждением конденсата, дан вывод выражений для минимальной мощности и максимального холодильного коэффициента в подобном цикле. Для цикла ПКХМсП на различных хладагентах рассчитываются зависимости холодильного коэффициента и степени термодинамического совершенства от внешних температур и дается сравнительная оценка масштабов их повышения за счет возможного внешнего переохлаждения. Одним из способов повышения эффективности пароконденсационных холодильных машин является внешнее переохлаждение хладагента после конденсатора. Для оценки таких циклов чаще всего используется цикл Карно, однако сравнение с ним не объективно и существенно искажает оценку эффективности. В докладе приведен вывод выражения минимальной работы в эталонном цикле с внешним переохлаждением и показаны масштабы выигрыша работы в таких циклах в зависимости от внешних условий и рода хладагента.

Ключевые слова: цикл пароконденсационной холодильной машины; внешнее переохлаждение; термодинамический анализ; минимальная мощность

Vapor Compression Refrigerating Machines with Liquid Refrigerant Subcooling after Condenser

© | Kolosov M.A.
Borisenko A.V.

kolosov@bmstu.ru
borart@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The article considers the impact of liquid refrigerant outer subcooling after the condenser by the exterior medium on the effectiveness of one-stage vapour compression refrigeration machine with supercooler (VCRMwS). Carno cycle method often used for evaluating the effectiveness of these cycles doesn't consider change of ambient temperature needed for subcooling (exergy) and can't objectively evaluate power losses in these machines. The paper presents a type of reference cycle for VCRMwS with constant condensation temperature and further outer subcooling and derives an equation for minimal power and maximal cooling performance indicator. The dependence of cooling performance indicator from ambient temperature is calculated with various refrigerants and comparative assessment of the rates of its improving through outer subcooling is given. Outer subcooling of the refrigerant by an exterior medium after the condenser is one way of increasing a vapour compression refrigeration machine's effectiveness. Carnot cycle is used as a benchmark for these cycles, but the comparison is biased and skewed. The report provides a derivation of the expression for minimal power in the reference cycle with outer subcooling, as well as the scaling ratios for the power gain as functions of exterior conditions and type of refrigerant.

Keywords: vapour compression refrigeration cycle; outer subcooling; thermodynamic analysis; minimal power

Особенности организации процесса теплообмена в условиях возможного образования льда на рабочей поверхности

© | Смородин А.И.
| Шуюков А.Л.
| Мурашкина Т.И.

Smorodin38@rambler.ru

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

Рассматриваются процессы теплообмена в условиях, когда одна из сред имеет температуру тройной точки ниже температуры кипения второй среды. Показано, что процесс образования льда можно избежать путем организации процесса теплообмена методом подбора соотношений параметров сред, участвующих в теплообмене. Приведены примеры практической реализации предложенного подхода.

Ключевые слова: тройная точка, теплообмен, лед

Features of the Organization of the Heat Transfer Process in the Conditions of Possible Ice Formation on the Working Surface

© | Smorodin A.I.
| Shuyakov A.L.
| Murashkina T.I.

Smorodin38@rambler.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The article deals with the processes of heat transfer in conditions when one of the media has a triple point temperature below the boiling point of the second medium. It is shown that the process of ice formation can be avoided by organizing the heat exchange process by selecting the ratio of the parameters of the media involved in the heat exchange. Examples of practical implementation of the proposed approach are given.

Ключевые слова: тройная точка, теплообмен, лед

Повышение эффективности применения парокompрессионных холодильных машин с помощью встроенных аккумуляторов холода

© Колесников А.С.
Кротов А.С.
Егорова А.И.
Самохвалов Я.В.
Пронин Д.М.

kolesnikov@bmstu.ru

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

Использование аккумуляторов холода повышает эффективность системы холодо-снабжения для целого ряда задач. Кроме того, в последние годы интерес к аккумулялированию холода растет в связи с активным развитием применения возобновляемых источников энергии для холодоснабжения. До недавнего времени единственным удобным способом аккумулялирования холода было накопление льда. Также необходимым условием было использование промежуточного хладоносителя. Однако применение промежуточного хладоносителя нерационально для многих конструкций холодильных машин и ведет к дополнительным потерям теплоты. Сегодня разработано множество веществ для аккумулялирования теплоты фазового перехода при различных температурах, что расширяет возможности применения аккумулялиции тепловой энергии непосредственно в контуре парокompрессионной холодильной машины (ПКХМ). Выполнен обзор существующих способов применения аккумуляторов холода в контуре парокompрессионной холодильной машины без использования вторичного хладоносителя, предложены новые варианты. Проведен сравнительный анализ эффективности рассмотренных систем. Получены результаты по эффективности применения различных способов аккумулялирования холода в контуре ПКХМ. Даны рекомендации по области применения систем, подбору веществ для аккумулялирования холода и объему аккумуляторов.

Ключевые слова: аккумулятор холода, теплота фазового перехода, ПКХМ, моделирование

Improving the Performance of Vapor-Compression Refrigerators Using Integrated Thermal Energy Storage

© Kolesnikov A.S.
Krotov A.S.
Egorova A.I.
Samokhvalov Ya.V.
Pronin D.M.

kolesnikov@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

Applying thermal energy storages increases the efficiency of the refrigeration system for many tasks. Interest in thermal energy storage is growing in connection with the active de-

velopment of the renewable energy sources for cooling. Until recently, ice was the only convenient way to accumulate cold with necessary using of intermediate coolant. However, the use of an intermediate coolant is irrational for many designs of refrigerators and leads to additional heat losses. Today, many substances are developed for accumulating latent heat at various temperatures, which expands the possibilities of using thermal energy storage directly in the circuit of a vapor -compression refrigerator (VCR). A review of existing ways for using thermal energy storage in the circuit of a VCR without the use of an intermediate coolant is performed, new options are proposed. A comparative analysis of the performance of the considered systems is carried out. The results on the effectiveness of using various methods of heat storage in the VCR circuit are obtained. Recommendations on the range of application for the systems, the selection of substances for storage and the volume of storages are given.

Keywords: thermal energy storage, latent heat, vapor-compression refrigerator, simulation

Создание ледопородного ограждения при строительстве вертикальных шахтных стволов

© | Жаров А.А.
| Миронов Д.А.

zharov_a@bmstu.ru
mironovda1@student.bmstu.ru

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

Рассматривается вопрос создания и поддержания ледопородного ограждения (ЛПО) шахтных стволов. Актуальность исследования обусловлена возрастающим спросом на такие полезные ископаемые, как, например, калийная руда. Такая руда добывается шахтным методом, при котором для обеспечения прочности и гидроизоляции ствола применяют ЛПО. Основная проблема заключается в корректном расчете требуемой толщины ЛПО и холодопроизводительности, выборе режимов и схем замораживания. Выбор различных решений влияет на капитальные и эксплуатационные затраты. Поставлена задача оценить влияние схем расположения замораживающих колонок, выбранной температуры хладонносителя на стоимость капитальных и эксплуатационных затрат. Также выполнен анализ влияния вышеуказанных факторов на сам процесс замораживания грунта. Для проведения исследования использовались аналитические методы расчета и специальное программное обеспечение. Были рассмотрены причины, не позволяющие создать замкнутое ледопородное ограждение, так как зачастую они обусловлены не выбором схемного решения и температурного режима, а нарушением технологии бурения и установки колонок. В итоге, данная статья объединяет опыт работ по созданию ледопородного ограждения и предоставляет сравнительный анализ различных решений.

Ключевые слова: заморозка грунтов, ледопородное ограждение, шахтных ствол, холодильная машина

Development of Frost Wall During The Construction of Vertical Shafts

© | Zharov A.A.
Mironov D.A.

zharov_a@bmstu.ru
mironovda1@student.bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The subject of this article is development and maintaining of shaft's frost wall. Relevance of research is based on increasing demand for mineral resources, such as potash ore. Mining method is used for extraction of this type of ore and frost wall is used for providing of strength and waterproofing of shaft. There are a few main problems: correct calculation of required frost wall's thickness, the choice of temperature regime and the choice of freezing scheme, calculation of required cooling capacity. The choice of freezing technique affects on value of capital and operation costs. The task was to complete impact analysis of freezing pipes layout and brine temperature on value of capital and operation costs. An impact analysis of these factors on ground freezing was also completed. The task was solved by analytical methods of calculation and special software. Possible reasons of frost wall's failure were also described, as they usually are not related to temperature regime or freezing scheme. These reasons are related to technique of boreholes drilling and installation of freezing pipes. As a result, this article combines experience in development of frost walls and provides comparing analysis of different schemes and techniques in area of frost wall development.

Keywords: ground freezing, frost wall, shaft, refrigeration machine

Описание экспериментальной установки по изучению циклов сорбции-десорбции фторсодержащих рабочих тел

© | Понуrowsкая В.В.
Ежов Е.В.
Мазурин И.М.

berenika973@mail.ru

ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», Москва, 111250, Россия

На ранее созданном крупномасштабном стенде реализован замкнутый безмашинный газотехнологический цикл для утилизации и рецикла фторсодержащих рабочих тел на модифицированном углеродном сорбенте. На основании проведенных на данном стенде оценочных исследований спроектирована и создана лабораторная экспериментальная установка для более глубокого исследования циклов сорбции-десорбции на углеродном сорбенте. Предварительно апробирована работоспособность по реализации циклов сорбция-десорбция. В экспериментальной установке предусмотрена возможность замены сорбентов и исследуемых газов (сорбатов), а также отбора проб газа для масс-спектрометрии.

Ключевые слова: сорбция, угольные сорбенты, фторуглероды, энергетические циклы, десорбция, регенерация, рецикл, рабочие тела, масс-спектрометрия, теплонасосные установки

Работа поддержана грантом РФФИ 19-08-00308

Description of an Experimental Setup for the Study of Sorption-Desorption Cycles of Fluorine-Containing Working Substances

© | Ponurovskaya V.V.
| Ejev E.V.
| Mazurin I.M.

berenika973@mail.ru

National Research University "Moscow Power Engineering Institute", Moscow, 111250, Russia

At the previously created large-scale stand, a closed machineless gas-technological cycle was implemented for the utilization and recycling of fluorine-containing working gases on a modified carbon sorbent. Based on the evaluation studies conducted at this stand, a laboratory experimental setup was designed and created for a deeper study of sorption-desorption cycles on a carbon sorbent. The working capacity for the implementation of sorption-desorption cycles has been preliminarily tested. The experimental setup provides for the possibility of replacing the sorbents and the studied gases (sorbates), as well as gas sampling for mass spectrometry.

Keywords: sorption, carbon sorbents, fluorocarbons, energy cycles, desorption, regeneration, recycling, working bodies, mass spectrometry, heat pump systems

The work was supported by RFBR grant 19-08-00308

Практико-ориентированное обучение на кафедре Э-4 МГТУ им. Н.Э. Баумана по стандартам Worldskills

© | Казакова А.А.
| Лавров Н.А.
| Шишов В.В.

kazakova@bmstu.ru

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

Второй год подряд кафедра Э-4 подтверждает свой титул чемпиона в межвузовских соревнованиях WorldSkills по международной компетенции № 38 «Холодильная техника и системы кондиционирования». На кафедре Э-4 на территории НОЦ «Криология» МГТУ им. Н.Э. Баумана организована площадка по стандартам WorldSkills, позволяющая проводить практико-ориентированное обучение студентов по стандартам WorldSkills. По результатам сданного экзамена выпускник получает паспорт компетенций (skill passport). Паспорт содержит разностороннюю оценку квалификации каждого выпускника, по востребованным в настоящее время промышленностью параметрам. Все паспорта, сертификаты и чемпионатный опыт каждого студента или эксперта заносятся в единую информационную систему eSIM, доступ к которой по запросу может получить работодатель.

Ключевые слова: WorldSkills, компетенции № 38, холодильная техника и системы кондиционирования, кафедра Э-4 МГТУ им. Н.Э. Баумана

Practice-oriented training at the PE-4 department of BMSTU by WorldSkills standards

© | Kazakova A.A.
| Lavrov N.A.
| Shishov V.V.

kazakova@bmstu.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

For the second year in a row, the PE4 department confirms its champion title in WorldSkills inter-university competitions in international competence No. 38 “Refrigeration equipment and air conditioning systems”. At the Department of PE4 in the REC “Cryology” BMSTU organized a platform according to WorldSkills standards, which allows conducting practice-oriented student training according to WorldSkills standards. Based on the results of the exam passed, the graduate receives a skill passport. The passport contains a comprehensive assessment of the qualifications of each graduate, according to the parameters currently demanded by the industry. All passports, certificates and championship experience of each student or expert are entered into the unified information system eSIM, access to which upon request can be obtained by the employer.

Keywords: WorldSkills, competence No. 38, refrigeration equipment and air conditioning systems, department PE-4 BMSTU

Низкотемпературные сублимационные холодильники на диоксиде углерода с низким давлением

© | Порутчиков А.Ф.
| Трубин Д.П.

porutchikov.artem@mail.ru
dmitritrubin@yandex.ru

Московский политехнический университет, Москва, 107023, Россия

Представлены результаты теоретического и экспериментального анализа вакуумно-сублимационной холодильной машины на основе диоксида углерода. Такими холодильными машинами могут оснащаться холодильники для нужд медицины, где широко востребованы низкие температуры в диапазоне от минус 80 °С до минус 130 °С. Проблематика разработки альтернативных холодильных машин продиктована современными экологическими требованиями к рабочим веществам, которые постепенно ужесточаются и скоро применение привычных фреонов станет невозможным. Для отрасли кондиционирования и коммерческого холодоснабжения активно разрабатываются новые вещества, такие как, гидрофторолефины (ГФО), заменой гидрофторуглеродам и их смесям могут выступать также углеводороды, но необходимо учитывать, что они являются горючими и взрывоопасными веществами. Вакуумно-сублимационная установка на диоксиде углерода может выступить как альтернатива современным парокомпрессионным холодильным установкам на фреонах для указанного диапазона температур, но при условии сопоставимых энергозатрат при ее эксплуатации. В статье были рассмотрены трехступенчатый и четырехступенчатый циклы вакуумно-сублимационной холодильной машины, проведено их теоретиче-

ское сопоставление по холодильному коэффициенту с каскадным циклом на углеродородных рабочих веществах. Можно отметить, что холодильные коэффициенты рассматриваемых циклов близки, но экологичность, безопасность и не горючесть диоксида углерода дает преимущества вакуумно-сублимационной холодильной машине.

Ключевые слова: диоксид углерода, сублимация при низком давлении, холодильная машина, низкотемпературные медицинские морозильники, хладагенты

Low Temperature Vacuum Sublimation Refrigerators on Carbon Dioxide as Working Fluid

© | Porutchikov A.F.
Trubin D.P.

porutchikov.artem@mail.ru
dmitritrubin@yandex.ru

Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russia

The paper presents the results of theoretical and experimental analysis of a vacuum-freeze-drying refrigeration machine based on carbon dioxide. Such refrigerators can be equipped with refrigerators for the needs of medicine, where low temperatures are widely in demand in the range from minus 80 degrees Celsius to minus 130 degrees Celsius. The problem of developing alternative refrigeration machines is dictated by modern environmental requirements for working substances, which are gradually being tightened and soon the use of familiar freons will become impossible. For the air conditioning and commercial refrigeration industry, new substances are being actively developed, such as hydrofluoroolefins (HFOs), hydrocarbons can also serve as substitutes for hydrofluorocarbons and their mixtures, but it must be borne in mind that they are combustible and explosive. A carbon dioxide vacuum sublimation unit can act as an alternative to modern freon vapor compression refrigeration units for the indicated temperature range, but subject to comparable energy costs during its operation. The article examined the three-stage and four-stage cycles of a vacuum-freeze-drying refrigeration machine, carried out their theoretical comparison in terms of refrigeration coefficient with a cascade cycle on hydrocarbon working substances. It can be noted that the refrigeration coefficients of the considered cycles are close, but the environmental friendliness, safety and non-combustibility of carbon dioxide gives the advantages of a vacuum freeze-drying refrigeration machine.

Keywords: carbon dioxide, low pressure sublimation, refrigeration machine, low temperature medical freezers, refrigerants

Математическое моделирование динамики роста инея на поверхности трубчато-ребристого воздухоохладителя

© | Маринюк Б.Т.¹ | mospolytech@mospolytech.ru
| Белуков С.В.¹
| Королев И.А.^{1,2} | mail@vnihi.ru

¹ Московский политехнический университет, Москва, 107023, Россия

² ФГБНУ ВНИИХИ — филиал «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН
Москва, 127422, Россия

Разработана математическая модель для расчета технических характеристик воздухоохладителей трубчатого типа с пластинчатым оребрением, учитывающая температурно-влажностные условия, неравномерный характер роста толщины слоя инея по глубине теплообменного ядра, расходно-напорные характеристики вентиляторов и зону перегрева холодильного агента. Модель была верифицирована на основе проведенных авторами экспериментальных исследований работы воздухоохладителя при температурах воздуха от минус 6 до минус 20 °С, а также опытных данных независимых исследователей. Погрешность расчетов холодопроизводительности и коэффициентов теплопередачи по представленной модели не превышает 15 %. Установлено, что в «сухих» условиях работы воздухоохладителя понижение температуры кипения холодильного агента на 10 °С приводит к уменьшению коэффициента теплопередачи на 35 % ввиду снижения массовой скорости холодильного агента в 2 раза и коэффициента теплоотдачи на 75 %. Процесс инеевыпадения приводит к росту термического сопротивления в исследованном воздухоохладителе на 30 %, аэродинамического сопротивления более чем в 2 раза, а также снижению холодопроизводительности на 15 %.

Ключевые слова: иней, трубчато-ребристый теплообменник, воздухоохладитель, испаритель, холодопроизводительность

A Mathematical Modelling of Frost Growth Dynamics on a Surface of Fin-and-Tube Air Cooler

© | Marinyuk B.T.¹ | mospolytech@mospolytech.ru
| Belukov S.V.¹
| Korolev I.A.^{1,2} | mail@vnihi.ru

¹ Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russia

² All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry — Branch of V.M. Gorbatov Research Center for Food Systems, RAS, Moscow, 127422, Russia

A mathematical model was developed to predict the performance characteristics of fin-and-tube air coolers with plane fins, taking into account the temperature and humidity conditions, non-uniform thickness of the frost layer along the heat exchanger core, flow-pressure characteristics of the fans and the refrigerant superheat zone. The model was verified on the experimental data of air cooler performance in frosting conditions obtained by the authors in air temperature range from minus 6 to minus 20 °С, and experimental data from inde-

pendent researchers. The presented model predicts the cooling capacity and the overall heat transfer coefficient in the evaporator with error not exceeded 15 %. It was found that during dry operating conditions of the air cooler, the refrigerant boiling temperature descent by 10 °C leads to a decrease in the overall heat transfer coefficient by 35 %. The main reason of that is double decrease of the refrigerant mass velocity and the refrigerant-side heat transfer coefficient by 75 %. The process of frost grow leads to an increase in overall thermal resistance in the studied air cooler by 30 %, more than double increase in the aerodynamic resistance and decrease in cooling capacity by 15 %.

Keywords: Frost, Fin-And-Tube Heat Exchanger, Air Cooler, Evaporator, Cooling Capacity

Моделирование работы установки с радиационным охлаждением для поддержания температуры хранения в холодильной камере

© Цой А.П.¹
Грановский А.С.¹
Цой Д.А.²

teniz@bk.ru

ditsoy@gmail.com

¹Алматинский технологический университет, Алматы, А05Н0Е2, Казахстан

²Университет ИТМО, Санкт-Петербург, 197101, Россия

Рассмотрена возможность использования радиационного охлаждения для поддержания температуры в камере хранения пищевых продуктов в холодный период года в городах Алматы и Костанай (Казахстан) в условиях резко-континентального климата. Произведено компьютерное моделирование цикла работы установки в течение шести месяцев. В рассматриваемой установке осуществляется насосная циркуляция теплоносителя, охлаждаемого в ночное время в радиаторах. Радиаторы установки покрывают всю крышу холодильной камеры (12 м²). Компьютерное моделирование показывает, что требуемая температура в камере (0...+3 °С) поддерживается в Алматы 8,5 %, а в Костанаяе 28,2 % от общей продолжительности года. Энергопотребление составило 682,9 кВт·ч в Алматы и 601,3 кВт·ч в Костанаяе. Средний холодильный коэффициент установки составил 3,43 в Алматы и 4,63 в Костанаяе. Хотя предлагаемая установка с радиационным охлаждением работоспособна, в предлагаемом сценарии ее практическое применение не целесообразно.

Ключевые слова: радиационное охлаждение, эффективное излучение, естественное охлаждение

Modeling of the Operation of a Refrigeration Unit with Radiation Cooling to Maintain the Storage Temperature in the Cold Room

© | Tsoy A.P.¹
| Granovskiy A.S.¹
| Tsoy D.A.²

teniz@bk.ru

ditsoy@gmail.com

¹ Almaty Technological University, Almaty, A05H0E2, Kazakhstan

² ITMO University, St. Petersburg, 197101, Russia

The possibility of using radiation cooling to maintain the temperature in the food storage chamber during the cold season in the cities of Almaty and Kostanay (Kazakhstan) in a sharply continental climate was studied. Computer simulation of the unit operation cycle for six months was performed. In this unit, the coolant is pumped through the radiators. Radiators cover the entire roof of the cold room (12 m²). Computer simulation shows that the required temperature in the chamber (0...+3 °C) is observed in Almaty 8.5 %, and in Kostanay 28.2 % of the total length of the year. Energy consumption was 682.9 kWh in Almaty and 601.3 kWh in Kostanay. The average coefficient of performance of the unit was 3.43 in Almaty and 4.63 in Kostanay. Although the studied unit with radiation cooling is operational, in the proposed scenario its practical application is not advisable.

Keywords: radiative cooling, effective radiation, natural cooling

Исследование теплонасосного дистиллятора на Н-пентане в качестве рабочего вещества

© | Ильин Г.А.
| Малафеев И.И.
| Сапожников В.Б.

gennady.ilyn@gmail.com

malafeev.ilya@gmail.com

sapojnikov47@mail.ru

Московский политехнический университет, Москва, 107023, Россия

Одним из наиболее распространенных и надежных методов водоподготовки является метод термической дистилляции. Несмотря на надежность метода, его применение сдерживает высокая энергоемкость. Наиболее эффективным способом уменьшения затрат на выработку дистиллята является применение термотрансформаторов, обеспечивающих рекуперацию и регенерацию тепла фазовых превращений разделяемой жидкости. Применение рабочих веществ с наиболее благоприятными термодинамическими свойствами имеет первостепенное значение для создания высокоэффективных термотрансформаторов. Рассмотрены рабочие вещества для высокотемпературных тепловых насосов и представлены результаты расчетно-экспериментального исследования высокотемпературного парокомпрессионного теплонасосного дистиллятора на природном рабочем веществе Н-пентан.

Ключевые слова: высокотемпературный тепловой насос, теплонасосный дистиллятор, дистилляция, вода инъекционного качества, Н-пентан, герметичный холодильный компрессор

Calculated and Experimental Evaluation Heat Pump Distiller on Pentane as Working Substance

© Ilyn G.A.
Malafeev I.I.
Sapojnikov V.B.

gennady.ilyn@gmail.com
malafeev.ilya@gmail.com
sapojnikov47@mail.ru

Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russia

One of the most common and reliable methods of water treatment is the method of thermal distillation. Despite the reliability of the method, its application is constrained by high energy intensity. The most effective way to reduce the cost of production of distillate is the use of thermal transformers, providing regenerate and heat recovery phase transformations of the distillate. The use of working fluid with the most favorable thermodynamic properties is of paramount importance for the creation of high efficiency thermotransformers.

Keywords: high-temperature heat pump, heat pump distiller, distillation, water of injection quality, n-pentane, hermetic refrigeration compressor

Оптимизация гранулятора сухого льда с энергетической рекуперацией сжатого газообразного CO₂

© Смородин А.И.
Гимадеев А.И.

info@irbistech.com
Gimadeev.artur@gmail.com

¹ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

² ООО «Ирбис технологии», Москва, 143026, Россия

Интерполированы функции плотности газообразного CO₂ на линии насыщения «газ-твердое вещество» и коэффициента конвертации жидкого CO₂ в твердую фазу из четырех научных зарубежных и российских источников. Описаны параметры оптимизации и их ограничения. Выведены функции и построены графики диаметра поршневого детандера, входящего в состав гранулятора сухого льда, и давления прессования сухого льда в зависимости от давления сжатого газообразного CO₂, давления источника жидкого CO₂ и плотности упаковки сухого льда при дресселировании. Подведены итоги выбора оптимального диаметра поршневого детандера для гранулятора сухого льда.

Ключевые слова: гранулирование, диоксид углерода, сухой лед, поршневой детандер

Optimization of a Compressed Gaseous CO₂ Energy Recovery Dry Ice Pelletizer

© Smorodin A.I.
Gimadeev A.I.

info@irbistech.com
Gimadeev.artur@gmail.com

¹ BMSTU, Moscow, 105005, Russia

² IRBISTECH LLC, Moscow, 143026, Russia

The disadvantages of the existing dry ice electromechanical pelletizers have been revealed. A schematic flow diagram of the new dry ice energy recovery pelletizer and a carbon dioxide TS diagram with the processes of the new pelletizer have been presented. The functions of the diameter of the piston expander of the new dry ice pelletizer and dry ice pressing pressure depending on the pressure of compressed gaseous CO₂ have been derived. The optimal diameters of a piston expander for the dry ice pelletizer have been determined.

Keywords: granulating, carbon dioxide, dry ice, piston expander, recovery

Тепловой насос, работающий по «автокаскадному» холодильному циклу

© Гаранов С.А.
Зуев О.А.
Сухов А.С.
Иванова Е.В.

garanov-sergey@yandex.ru
olegzue@mail.ru
suhovlex2008@yandex.ru
iv.katerina.v@yandex.ru

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

Темой статьи являются расчет и оптимизация теплового насоса, работающего по «автокаскадному» холодильному циклу на смешанном холодильном агенте. Анализируются проблемы применения теплового насоса на смешанных зетропных холодильных агентах и проблемы выбора состава холодильного агента. Итогом работы является выбранный смешанный холодильный агент и оптимизация его состава.

Ключевые слова: тепловой насос, зетропный холодильный агент, бинарная смесь холодильных агентов

Heat Pump Operating on the Auto-Cascade Refrigerating Cycle

© | Garanov S.A.
Zuev O.A.
Suhov A.S.
Ivanova E.V.

garanov-sergey@yandex.ru
olegzue@mail.ru
suhovlex2008@yandex.ru
iv.katerina.v@yandex.ru

BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The subject of the article is the calculation and optimization of the heat pump, operating on “autocascade” refrigeration cycle on the mixture refrigerant. The problems of using a heat pump on mixed zeotropic refrigerants and the problems of selecting the refrigerant composition are analyzed. The result of the work is the selected mixed refrigerant and optimization of its composition.

Keywords: heat pump, zeotropic refrigerant, binary mixture of refrigerants

Сравнительный анализ уравнений состояния для расчета термодинамических свойств парожидкостной многокомпонентной смеси хладагентов — рабочего тела дроссельной низкотемпературной холодильной машины

© | Бычков Е.Г.

BychkovEG@kysr.ru

ЦНИИ «Курс», Москва, 105187, Россия

При проведении теоретических исследований дроссельных низкотемпературных холодильных машин замкнутого цикла на многокомпонентных смесях хладагентов, обеспечивающих заданный режим криостатирования охлаждаемых объектов в диапазоне температур от минус 90 до минус 160 °С, требуется проведение расчетов термодинамических свойств формируемых рабочих тел, основанных на использовании существующих уравнений состояния. В статье проведено сравнение уравнений состояния, применяемых для расчета термодинамических свойств многокомпонентных смесей хладагентов. Определены количественные и качественные различия результатов расчетов в области низких температур.

Ключевые слова: низкотемпературные холодильные машины, смеси хладагентов, термодинамические свойства, уравнение состояния

The Comparative Analysis of the State Equations of the Multi-Component Coolant Blend — Working Fluid of the Throttle Low Temperature Cooling Machine

© | Bychkov E.G.

BychkovEG@kyrs.ru

Central research Institute "Course", Moscow, 105187, Russia

The computation methods of the thermodynamic properties are used for theoretical studies of the throttle low temperature cooling machines multi-component coolant blends, providing cryostatting modes for cooled objects in the temperature range of minus 90 ... minus 160 °C. The article presents the comparative analysis of the state equations for calculating thermodynamic properties of multi-component coolant blends. Quantitative and qualitative differences in the results of calculations in the low-temperature region are determined.

Keywords: low temperature cooling machine, coolant blends, thermodynamic properties, equation of state

Исследование процессов регенерации адсорбента теплом компримирования в адсорбционном осушителе сжатого воздуха

© | Козлов В.В.¹

Пискун Е.С.²

Ильичева О.С.²

vladimir.kozlov@bmstu.ru

piskun@bmstu.ru

olga.ilicheva5@yandex.ru

¹ ООО «Энекон-Инжиниринг», Москва, 105005, Россия

² МГТУ им. Н. Э. Баумана, Москва, 105005, Россия

Представлены результаты численного моделирования процессов осушения и регенерации адсорбента теплом компримирования на примере схемы адсорбционного осушения с разделением потока воздуха на этапе охлаждения адсорбента. Проведена оценка динамики параметров температуры и влажности в пределах технологических колонн на всех трех этапах цикла адсорбции и регенерации. Показано, что рассмотренная схема адсорбционного осушения позволяет обеспечить достаточно стабильное среднее значение точки росы осушаемого сжатого воздуха без потерь на продувку адсорбента.

Ключевые слова: компрессор, адсорбционный осушитель, регенерация, численное моделирование процессов адсорбции, десорбции, охлаждения

Investigation of the Processes of Adsorbent Regeneration by Compression Heat in an Adsorption Dryer of Compressed Air

© | Kozlov V.V.¹
Piskun E.S.²
Ilicheva O.S.²

vladimir.kozlov@bmstu.ru
piskun@bmstu.ru
olga.ilicheva5@yandex.ru

¹ Ltd "Enecon-Ingeneering", Moscow, 105005, Russia

² BMSTU, Moscow, 105005, Russia

The results of numerical modeling of the processes of drying and regeneration of the adsorbent by heat of compression are presented on the example of the scheme of adsorption drying with the separation of the air flow on the stage of the cooling of the adsorbent. The dynamics of temperature and humidity parameters within the technological columns at all three stages of the adsorption and regeneration cycle was evaluated. It is shown that the considered scheme of adsorption drying allows to provide rather stable average dew point of the dried compressed air without losses on the adsorbent purging.

Keywords: compressor, adsorption desiccant, regeneration, numerical simulation of adsorption, desorption, cooling processes

Моделирование и анализ роторно-лопастной газовой холодильной машины для производства холода в диапазоне умеренных температур 173...273 К

© | Трандафилов В.В.
Хмельнюк М.Г.

vlad.trandafilov@gmail.com

Одесская национальная академия пищевых технологий, Одесса, 65039, Украина

Газовые холодильные машины (ГХМ), работающие по циклу Стирлинга, служат для охлаждения различных объектов на уровне температур от 4 до 90 К. В настоящее время ощущается потребность в ГХМ для производства холода при температурах 170...200 К. Целью настоящей работы является совершенствование ГХМ Стирлинга предназначенной для производства холода в диапазоне умеренных температур от 173 до 273 К за счет структурной оптимизации. Для достижения поставленной цели предложена принципиально новая роторно-лопастная конструкция газовой холодильной машины. Разработана и представлена модель роторно-лопастной газовой холодильной машины (РЛГХМ) с использованием компьютерного моделирования. Разработана математическая модель рабочего процесса в РЛГХМ. Расхождения в полученных результатах теоретических и компьютерных данных не более 5 %, что свидетельствует не только о качественной сходимости данных, но и о количественной. Проведено исследование влияния режимных и конструктивных параметров на характеристики РЛГХМ в диапазоне умеренных температур охлаждения. Показано, что при одинаковой холодопроизводительности 12 кВт, эффективность РЛГХМ по сравнению с поршневыми ГХМ Стирлинга, серийно выпускаются выше на 15 %. По массовыми характеристиками РЛГХМ меньше в 2,5 раза. Выполненный анализ про-

цессов работы РЛГХМ при использовании различных рабочих тел (гелий, азот, метан) показал, что при замене гелия в РЛГХМ азотом холодопроизводительность стала меньше на 30 %, а максимальное значение ϵ — на 6 % меньше, чем для гелия. При использовании метана холодопроизводительность снизилась более чем на 9 % по сравнению с гелием. Выполнена оценка жизненного цикла РЛГХМ. Проанализировано влияние на окружающую среду. Было определено, что производство монтаж и эксплуатация, а также утилизация РЛГХМ наносит на 37% меньше вреда окружающей среде по сравнению с ГХМ Стирлинга SPC-1.

Ключевые слова: газовая холодильная машина Стирлинга, роторно-лопастная газовая холодильная машина, массогабаритные характеристики, математическая модель, жизненный цикл

Process Simulation and Analysis of a Rotary-Vane Gas Refrigerating Machine for Cold Production in the Medium Temperatures Level 173...273 K

© | Trandafilov V.V.
Khmelnik M.G.

vlad.trandafilov@gmail.com

Odessa National Academy of Food Technologies, Odessa, 65039, Ukraine

Stirling Gas Refrigeration machines (SRM) are very versatile for industrial cooling applications in temperature range from 4 K to 90 K. Nowadays a significant lack of cooling capacity is experienced in medium temperature range. The article is devoted to the SRM for cold production in the medium temperature range (173 to 273 K). To achieve this goal structural optimization of the SRM system is performed and a fundamentally new rotary-vane design of a gas refrigerating machine is proposed. The process model simulation (PMS) of rotary-vane gas refrigerating machine (RVGRM) is developed and presented. The measurement's uncertainty from the theoretical and computer PMS is not more than 5 %, which indicates not only the qualitative data convergence, but also the quantitative. The study of the structural and regime parameters which influences on the RVGRM characteristics in the range of moderate cooling temperatures is carried out. At the fixed cooling capacity (12 kW), the RVGRM efficiency is by 15 % higher than piston SRM. Estimated mass and dimension parameters are by 2.5 times improved. The RVGRM processes analysis for the helium, nitrogen, and methane was carried out. Replacing helium with nitrogen, both cooling capacity and Carnot efficiency (ϵ) are decreased by 30 % and by 6 % respectively. Using methane as the refrigerant in RVGRM, provides decrease in cooling capacity by more than 9 % compared to helium. An estimation of RVGRM life cycle is carried out. The system environmental impact is analyzed and reduced by 37 % compared to the SRM "SPC-1".

Keywords: Stirling refrigerating machine, rotary-vane gas refrigerating machine, mass-dimensional characteristics, mathematical model, life cycle

Экспериментальное исследование термостабилизатора грунта при изменении метеоусловий

© | Евдокимов В.С.

omgtu_evdokimov@mail.ru

Омский государственный технический университет, Омск, 644050, Россия

Объектом исследования являются эффективность работы термосвай и термостабилизаторов грунта. Цель работы – определение зависимости температурного поля в зоне замораживания грунтов от температуры наружного воздуха, ветрового потока, воздействующего на оребрение термостабилизатора, а также оценка эффективности термостабилизатора грунта от показателей работоспособности термостабилизатора и свойств грунта. В процессе работы проводились стендовые испытания, инженерные и численные расчеты термостабилизатора грунта без повреждения и с повреждением конденсаторной части, термостабилизатора грунта в гильзе с заполнением незамерзающей жидкостью на 50 и 100 %, термосвай. В результате исследования были получены зависимости эффективности работы термосвай и термостабилизаторов грунта от скорости обдува конденсаторной части, температуры воздуха в климатической камере и температуры воздуха в нижней камере. Полученные результаты могут быть использованы для разработки методов контроля работоспособности и оценки эффективности термостабилизатора грунта в части определения достаточности принятых проектных технических решений для термостабилизации грунта от фактических показателей эффективности термостабилизатора грунта и грунта свойства на месте установки.

Ключевые слова: термальные сваи, термостабилизатор, зона промерзания почвы

An Experimental Research of Soil Thermal Stabilizer under Changing Weather Conditions

© | Evdokimov E.S.

omgtu_evdokimov@mail.ru

Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russia

The object of the study is the efficiency of thermal piles and thermal stabilizers of the soil. The purpose of the research is to determine the dependence of the temperature field in the soil freezing zone on the temperature of the outside air, the wind flow acting on the fins of the thermostabilizer, as well as assessing the effectiveness of the thermostabilizer on the performance indicators of the thermostabilizer and soil properties. In the process, bench tests were carried out, engineering and numerical calculations of the soil thermal stabilizer without damage and with damage to the condenser part, the soil thermal stabilizer in the sleeve filled with non-freezing liquid, and thermal piles. As a result of the research, the dependences of the efficiency of thermal piles and soil thermal stabilizers on the speed of blowing the condenser part, the air temperature in the climate chamber and the air temperature in the lower chamber were obtained. The results can be used to develop methods for monitoring the health and evaluating the effectiveness of the soil thermal stabilizer in terms of determining the sufficiency of the adopted design technical solutions for soil thermal

stabilization from the actual performance indicators of the soil thermal stabilizer and soil properties at the installation site.

Keywords: thermal piles, thermal stabilizer, soil freezing zone

Сравнительная оценка эффективности существующих систем охлаждения промежуточного хладоносителя аммиачных холодильных установок

© | Фот А.Н.

hein@list.ru

| Аистов И.П.

| Султанмуратов Р.Б.

Омский государственный технический университет, Омск, 644050, Россия

Поиск способов повышения эффективности холодильных установок обусловлено ростом стоимости энергоресурсов и ужесточением экологических норм. Водяное охлаждение конденсаторов позволяет снизить потребление электроэнергии, однако приводит к удорожанию единицы холода из-за высокой стоимости воды и требований экологических норм. При воздушном охлаждении возможно использовать естественный холод воздуха, однако в летний период давление конденсации значительно выше по сравнению с водяным охлаждением (увеличение мощности привода компрессора до 67 %). Охлаждение промежуточного хладоносителя непосредственно атмосферным воздухом в холодный период года позволяет снижать нагрузку на испаритель холодильной машины по мере снижения температуры воздуха до полного отключения холодильной установки. Наиболее рациональная схема охлаждения промежуточного хладоносителя определена технико-экономическим анализом при изменяющихся температурах охлаждающего воздуха. В работе приведены результаты оценки основных характеристик холодильных установок. Показано, что схема холодильной установки с комбинированным охлаждением конденсаторов имеет годовые затраты на выработку холода на 13 % меньше, чем в схеме с непосредственным охлаждением хладоносителя и на 47 % меньше, чем в схеме с водяным охлаждением конденсаторов.

Ключевые слова: комбинированное охлаждение; холодильная машина, энергоэффективность, непосредственное охлаждение, промежуточный хладоноситель

Comparative Assessment of the Existing Cooling Systems Efficiency for the Intermediate Coolant of Ammonia Refrigerators

© | Fot A.N.
| Aistov I.P.
| Sultanmuratov R.B.

hein@list.ru

Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russia

The search for ways to improve refrigeration plants efficiency is due to the increase in the cost of energy resources and the tightening of environmental regulations. Water cooling of capacitors reduces power consumption, but increases the cost of a cold unit due to the high cost of water and the requirements of environmental regulations. In air cooling, it is possible to use natural air cold, but in summer the condensation pressure is significantly higher than in water cooling (increasing the compressor drive power to 67 %). Cooling the intermediate coolant directly with atmospheric air during the cold season reduces the load on the evaporator of the refrigeration machine as the air temperature decreases until the refrigeration plant is completely shut down. The most rational cooling scheme of the intermediate coolant is determined by technical and economic analysis at varying temperatures of the cooling air. The results of the assessment of the main refrigeration units characteristics are given in the work. It is shown that the circuit of the cooling unit with combined cooling of condensers has annual costs for cold production by 13 % less than in the circuit with direct cooling of the coolant and by 47 % less than in the circuit with water cooling of the condensers.

Keywords: composite cooling; refrigerator, energy efficiency, direct expansion refrigeration, intermediate coolant

Теоретический анализ эффективности применения холодильных агентов в системе рекуперации тепловых потерь одноступенчатого компрессора высокого давления

© | Чернов Г.И.
| Бусаров С.С.
| Юша В.Л.
| Капелюховская А.А.
| Галкова А.А.

bssi1980@mail.ru

Омский государственный технический университет, Омск, 644050, Россия

В настоящее время поршневые и мембранные компрессорные агрегаты в области среднего и высокого давления (3,0...10,0 МПа и более) и малой производительности (0,001...0,03 м³/с) сохраняют свою конкурентоспособность. Улучшение их технических характеристик возможно, в том числе, за счет применения длинноходовых ступеней. В одной такой ступени может быть повышено давления газа от 0,1 МПа до 3,0...11,0 МПа без нарушения температурного режима. В работе представлены результаты исследований по возможности обеспечения «квазиизотермического» режи-

ма, при котором температура нагнетаемого газа отличается от температуры газа на всасывании на 40...80 К, что при степени повышения давления от 3 до 100 следует признать хорошим достижением. В работе также показано, что за счет повышения температурного потенциала тепла сжатия в «квазиадиабатной ступени» до 500...900 К, можно достичь существенной экономии энергозатрат за счет использования систем рекуперации тепловых потерь на основе цикла Ренкина на различных рабочих веществах, в том числе низкотемпературных. Проведен сравнительный анализ эффективности системы рекуперации тепла для трех веществ — воды, фреонов R113 и R134a.

Ключевые слова: рекуперация, тепловые потери, цикл Ренкена, поршневой компрессор

Theoretical Analysis of Efficiency of Application of Refrigerating Agents in the System of Recovery of Heat Losses of a One-Stage High Pressure Compressor

© Chernov G.I.

Busarov S.S.

Yusha V.L.

Kapelyhovskaya A.A.

Galkova A.A.

bssi1980@mail.ru

Omsk State Technical University, Omsk, 644050, Russia

At present, piston and diaphragm compressor units in the field of medium and high pressure (3.0...10.0 MPa and more) and low productivity (0.001...0.03 m³/s) remain competitive. Improving their technical characteristics is possible, including through the use of long-stroke steps. In one such stage, gas pressure can be increased from 0.1 MPa to 3.0...11.0 MPa without violating the temperature regime. The paper presents the results of studies on the possibility of providing a “quasi-isothermal” mode, in which the temperature of the injected gas differs from the temperature of the gas at the suction by 40...80 K, which should be recognized as a good achievement with a degree of increase in pressure from 3 to 100 should be recognized as a good achievement. The work also showed that by increasing the temperature potential of the compression heat in the “quasi-adiabatic stage” to 500...900 K, it is possible to achieve significant energy savings through the use of heat loss recovery systems based on the Rankine cycle on various working substances, including low-temperature ones. A comparative analysis of the effectiveness of the heat recovery system for three substances — water, freons R113 and R134a.

Keywords: recovery, heat loss, Rankine cycle, reciprocating compressor

Приложение теории пористых структур и неравновесной термодинамики к анализу осаджений в проточном конденсаторе

© | Морозюк Л.И.
| Соколовская-Ефименко В.В.
| Гайдук С.В.
| Мошкатиук А.В.

Одесская национальная академия пищевых технологий,
Учебно-научный институт холода, криотехнологий и экоэнергетики
имени В.С. Мартыновского, Одесса, 65039, Украина

Работоспособность и эффективность теплообменного аппарата зависят от соответствия расчетных рабочих параметров и реальных условий его эксплуатации. Для проточного конденсатора главным фактором, нарушающим стабильную работу, считаются твердые осаджения. В работе авторы рассматривают твердые осаджения как пористую структуру. Анализ процессов в пористой структуре проводится методами неравновесной термодинамики, в частности методом «минимизации производства энтропии». Такая структура анализа обеспечила рассмотрение макроскопических потоков жидкостей любого качественного состава, и позволила на стадии проектирования оценить эффективность работы аппарата в функции времени.

Ключевые слова: осаджения, пористая структура, термодинамический анализ.

Application of the Porous Medium Theory and Nonequilibrium Thermodynamics to the Analysis of Fouling in a Flow Condenser

© | Morozyuk L.I.
| Sokolovska-Yefymenko V.V.
| Gayduk S.V.
| Moshkatiuk A.V.

Odessa National Academy of Food Technologies, Institute of Refrigeration Cryotechnology
and Ecoenergetics n.a. V.S. Martynovsky, Odessa, 65039, Ukraine

Operability and efficiency of the heat exchanger depend on the compliance of the calculated operating parameters and the actual conditions of its exploitation. For a flow condenser, the main factor that disrupts stable operation is solid fouling. In the paper, the authors consider solid fouling as a porous medium. The analysis of processes in the porous medium is carried out using the methods of nonequilibrium thermodynamics, in particular, the “entropy generation minimization” method. Such an analysis structure provided examination of macroscopic flows of liquids of any qualitative composition, and made it possible at the design stage to evaluate the efficiency of the apparatus as a function of time.

Keywords: fouling, porous medium, thermodynamic analysis