

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392
К 14

Сборник подготовлен под редакцией
доктора технических наук, академика Кулажанова Т.К.

Редакционная коллегия:

Цой А.П., Шалбаев К.К., Галкин М.Л., Андреева В.И. (ответ. секретарь)

К 14 Казахстан-Холод 2019: Сб. докл.межд.науч.-техн.конф. (20-21 февраля 2019г.) = Kazakhstan-Refrigeration 2019: Proceedings of the Conference (February 20-21, 2019). – Алматы: АТУ, 2019. – 218 с., русский, английский

ISBN 978-601-263-484-6

В докладах представлены результаты научных исследований, посвященные холодильным компрессорам, теплообменным аппаратам, системам автоматизации, цифровизации, технологиям холодильного хранения и переработки плодов и овощей и практическим внедрениям, представленные из Казахстана, России, Украины, Германии, Австрии, Беларуси, Кыргызстана, Голландии, Швейцарии и Узбекистана. Сборник рассчитан на специалистов и ученых, работающих в областях холодильной техники, пищевой и химической промышленности, а также на специалистов систем кондиционирования воздуха и жизнеобеспечения жилых, коммерческих зданий и спортивных комплексов.

The proceedings present the results of scientific research on refrigeration compressors, heat exchangers, automation systems, digitalization, refrigeration storage technology and the processing of fruits and vegetables and practical implementations submitted from Kazakhstan, Russia, Ukraine, Germany, Austria, Belarus, Kyrgyzstan, Holland, Switzerland and Uzbekistan. The proceedings are devoted to professionals and scientists working in the fields of refrigeration, food and chemical industries, as well as to specialists in air conditioning systems and life support of residential, commercial buildings and sports complexes.

УДК 621.56/59(063)
ББК 31.392

ISBN 978-601-263-484-6

© АТУ, 2019

x – продольная координата, м ;

$a = \frac{6\beta}{d}$ – удельная поверхность частиц, м²/м³;

d – диаметр частиц, м ;

q_{v1}, q_{v2} – производительность внутренних источников теплоты во входном сечении, Вт/м³,

ρ_c – плотность сухого дисперсного материала, кг/м³;

r – удельная теплота парообразования, Дж/кг;

$\frac{du}{d\tau}$ – скорость сушки, с⁻¹.

Индексы: “г”, “т” относятся к газу и твердым частицам соответственно, 0 – начальное значение. Черта сверху – среднее значение величины.

Список литературы

1. Календерьян, В. А. Исследование кинетики сушки крупы гречихи в микроволновом электромагнитном поле / В. А. Календерьян, И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева // ИФЖ. – 2006. – №3, Т. 79. – С. 123 – 127.
2. Лыков, А. В. Тепло- и массообмен в процессах сушки / А. В. Лыков. – М.-Л.: ГЭИ, 1956. – 464 с.
3. Календерьян, В. А. Влияние режимных параметров на распределение температур в движущемся плотном слое дисперсного материала при микроволново-конвективной сушке / В. А. Календерьян, И. Л. Бошкова, Н. В. Волгушева // Пром. теплотехника, 2010. – Т. 32, № 1. – С. 37-44.
4. Сафин, Р. Р. Математическая модель конвективной сушки коллоидных капиллярно-пористых материалов при давлении ниже атмосферного / Р. Р. Сафин, Р. Р. Хасаншин, Р. Г. Сафин. // Вестник Казанского технол. ун-та. – 2004. № 1. – С. 266-272.
5. Календерьян, В. А. Тепломассоперенос в аппаратах с плотным дисперсным слоем / В.А. Календерьян, И.Л. Бошкова // Монография. – К., 2011. – 184 с.

УДК 621.514

OVERVIEW OF REFRIGERATION SCROLL COMPRESSOR DESIGNS

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ ХОЛОДИЛЬНЫХ СПИРАЛЬНЫХ КОМПРЕССОРОВ

Budanov V.A. , Cand. Tech. Sc, associate professor	Буданов В.А. , канд. тех. наук, доцент
Odessa national academy of food technologies Ukraine, 65039, city of Odessa, Kanatna Street, 112	Одесская национальная академия пищевых технологий Украина, 65039, г. Одесса, ул. Канатная, 112
E-mail: budanoff@ukr.net	

Abstract

The report provides an overview of the designs of refrigeration scroll compressors, which are increasingly being used in the artificial cold industry, heat pumps and air conditioning systems. The methods and designs for regulating the performance of a scroll compressor are presented, providing high accuracy of maintenance of operating parameters.

Аннотация

В докладе дан обзор конструкций холодильных спиральных компрессоров, которые все шире используются в индустрии искусственного холода, тепловых насосах и установках кондиционирования. Представлены способы и конструкции регулирования производительности спирального компрессора, обеспечивающие высокую точность поддержания эксплуатационных параметров.

В последние 30 лет в номенклатуре холодильных компрессоров появился новый тип компрессоров объемного сжатия – спиральный компрессор.

Идея такого компрессора известна более 100 лет, но промышленное производство этих компрессоров стало возможным только в условиях использования новых современных технологий обработки деталей. Первыми на рынок холодильного оборудования спиральные компрессоры поставили фирмы Hitachi Ltd и Copeland (Emerson Climate Technologies), научным группам этих крупных производителей холодильного оборудования принадлежат и значительные научные разработки в области исследования спиральных компрессоров. По мере совершенствования металлообрабатывающих технологий, холодопроизводительность этих компрессоров увеличивается и растет их количество. Сегодня производится более 14 млн. штук в год.

В настоящее время в холодильной технике спиральные компрессоры входят в состав холодильных машин малой и средней производительности, работающих на рабочих веществах HFC– и HCFC–типа в торговой технике, бытовых и транспортных кондиционерах, тепловых насосах.

Благодаря восстановлению мировой экономики мировой рынок спиральных компрессоров в последние два года показал некоторый рост. Развитые рынки, такие как рынки США и Европы, показали слабый рост, а развивающиеся рынки, такие как Китай, Индия продолжали расти. Без учета объема внутренних поставок объем мирового рынка спиральных компрессоров достиг 14,9 млн единиц, что свидетельствует о росте на 6,2% в 2017 году. В 2018 году темпы роста рынка спиральных компрессоров несколько снизились на 0,62% в годовом исчислении [1].

Широко развивается технология модульных чиллеров, использующих спиральные компрессоры. Модульные чиллеры имеют несколько преимуществ: компактные размеры для легкой транспортировки и инсталляции, а также возможность параллельной инсталляции нескольких модулей для получения более высокой производительности. Благодаря этим преимуществам модульные чиллеры получили широкое распространение, особенно в Европе, Японии и Китае. Возможность применения нескольких агрегатов, работающих на один объект, значительно расширяет масштаб применения спиральных компрессоров причем в традиционных областях применения винтовых компрессоров.

При расширении функций тепловых насосов воздух–вода (ATW) не только для отопления дома, но и для горячего водоснабжения, спиральные компрессоры находят здесь все более широкое применение.

В холодильной технике использование спиральных компрессоров расширяется благодаря их высокой эффективности и компактным размерам. Япония экспортирует компрессоры, использующие CO₂ в качестве хладагента, в Европу и Австралию. Эти компрессоры также можно использовать для тепловых насосов в системе нагрева воды и в системе охлаждения.

Популярность гибридных автомобилей вызывает значительный интерес в использовании спиральных компрессоров на CO₂ в системах автокондиционеров [1].

Спиральные компрессоры классифицируют:

- по методу уплотнения и охлаждения рабочей полости: маслозаполненные, сухого сжатия, с впрыском холодильного агента;
- по количеству ступеней сжатия: одноступенчатые, двухступенчатые;
- по типу спирали: с эвольвентными спиралями, со спиралями Архимеда, с кусочно-окружными спиралями;

- по расположению спиралей в пространстве: вертикальные, горизонтальные.

Спиральные компрессоры могут быть сальниковыми, бессальниковыми и герметичными.

К преимуществам спиральных компрессоров относят: высокую энергетическую эффективность; высокую долговечность; высокую эксплуатационную надежность; хорошую уравновешенность; малую степень неравномерности вращения; малую скорость потока рабочего вещества в проточной части; малый уровень шума; быстроходность (от 16 до 200 сек⁻¹); отсутствие мертвого пространства; уменьшенный вредный подогрев пара от стенки; отсутствие клапанов; возможность работы на любом рабочем веществе; возможность работы по циклу Ворхиса.

Спиральные компрессоры не лишены и некоторых недостатков. К ним относятся: потребность в сложных металлообрабатывающих станках с программным управлением; сложная балансировка ротора двигателя из-за сложной системы действующих в механизме сил: осевых, тангенциальных, центробежных; дополнительные потери мощности из-за отсутствия нагнетательного клапана (по аналогии с винтовым компрессором).

Изложим коротко основные принципы работы спирального компрессора.

Для описания принципа действия спирального компрессора (см. рис. 1) необходимо мысленно вставить одну спираль в другую и посмотреть на них с торца вала. Между стенками спирали образуются полости, некоторые из которых замкнутые. Если осуществить вращение вала, то размеры (объемы) полостей будут изменяться. Подвижная спираль совершает движение по определенной орбите (например – круговой с радиусом r вокруг оси неподвижной спирали).

Процесс всасывания – раскрытие и закрытие полостей, образованных внешними дугами спиралей, крышкой компрессора и платформой неподвижной спирали за один оборот вала.

Продолжительность процесса сжатия и нагнетания зависит от угла закрутки спиралей и размеров нагнетательного отверстия.

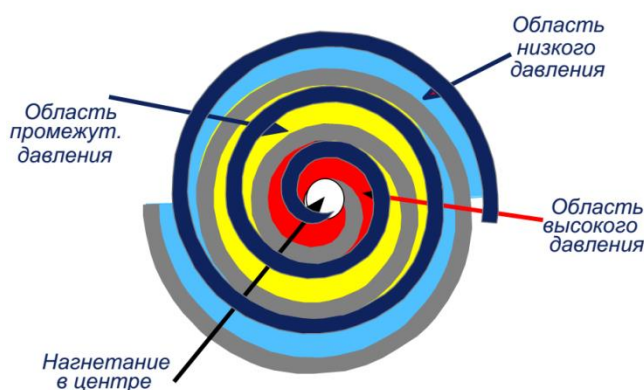


Рисунок 1 – Принцип действия спирального компрессора

Таким образом, теоретическая объемная производительность компрессора определяется объемом двух наружных полостей спиралей V_r и частотой вращения вала n

$$V_h = 2V_r n$$

Действительная объемная производительность спирального компрессора связана с теоретической коэффициентом подачи $V_d = V_h \lambda$, но, к сожалению, в современных публикациях практически не встречаются теоретические или эмпирические зависимости для расчета коэффициента подачи спирального компрессора. Эта величина может быть определена только по усредненным экспериментальным данным заводов-изготовителей, часто присутствующим в рекламной продукции.

Ярким представителем современных спиральных компрессоров являются модели для холодильной техники Copeland Digital Scroll с плавным регулированием холодопроизводительности [2].

Конструкция компрессора и его технические особенности представлены на рисунке 2.

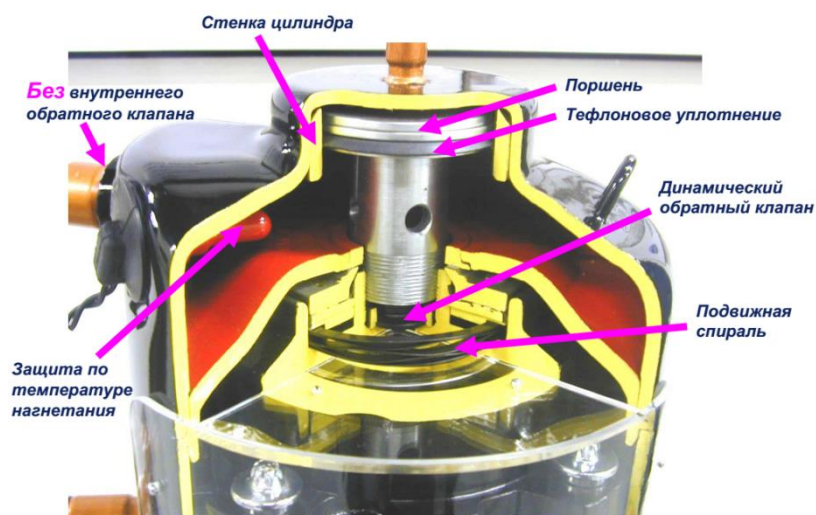


Рисунок 2 – Технические особенности спирального компрессора Copeland

Основные отличия от стандартного спирального компрессора следующие:

- изменена конструкция верхней части корпуса и неподвижной спирали;
- цилиндр встроен в верхнюю часть компрессора;
- большой осевой ход неподвижной спирали;
- использование динамического обратного клапана;
- изменена конструкция плавающего уплотнения;
- вертикально подвижный поршень;
- соленоидный вентиль.

В компрессоре предусмотрен новый способ регулирования холодопроизводительности, который полностью соответствует стандартам качества Copeland.

Регулирование холодопроизводительности по технологии Copeland Scroll основано на радиальном и осевом согласовании спиралей. Согласование спиралей обеспечивает высокую надежность, эффективность и долговечность компрессора. Кроме того, обеспечивается устойчивость к «влажному ходу» и устойчивость к попаданию механических частиц.

Механизм регулирования спирального компрессора основан на осевом согласовании (рисунок 3).

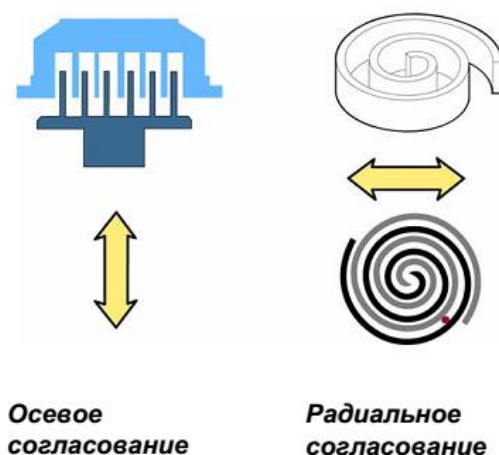


Рисунок 3 – Согласование спиралей

Конструкция механизма регулирования холодопроизводительности представлена на рисунке 4.

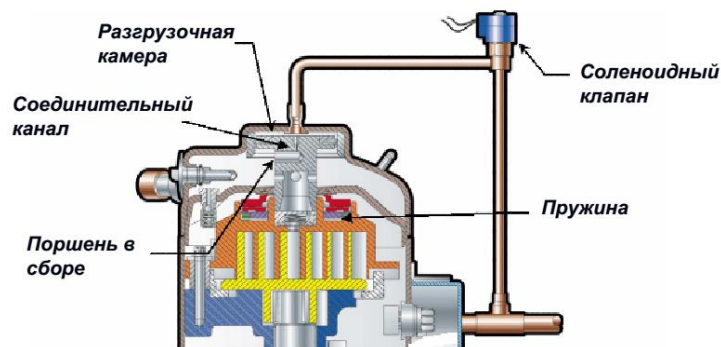


Рисунок 4 – Механизм регулирования

Разгрузочная камера расположена над поршнем и соединена с полостью высокого давления технологическим сверлением диаметром 0,6 мм. Соленоидный клапан соединяет разгрузочную камеру и полость всасывания. Поршень жестко закреплен на неподвижной спирали. Когда поршень движется вверх, он тянет за собой неподвижную спираль. Работа механизма регулирования заключается в следующем. Когда соленоидный клапан закрыт (нормально закрытый СВ) давление с обеих сторон поршня равно давлению нагнетания, а усилие пружины обеспечивает контакт спиралей. Когда соленоидный клапан открыт (подано питание на катушку) очень малое количество газа высокого давления из разгрузочной камеры перепускается на сторону низкого давления и поршень поднимается вверх и тянет за собой верхнюю спираль. При этом происходит мгновенное объединение всех полостей внутри спирального блока, т.е. компрессор не сжимает хладагент. При обесточивании соленоидного клапана он закрывается, перекрывая канал сброса давления, и процесс сжатия возобновляется. Осевой ход неподвижной спирали очень мал, менее 1,0 мм. Количество газа высокого давления, перепускаемого на сторону низкого давления очень мало (диаметр сверления 0,6 мм), что не оказывает влияния на режим работы компрессора.

Плавное регулирование холодопроизводительности в пределах от 100% до 10% производится посредством изменения времени эффективного сжатия (рис. 5). Производительность компрессора составляет либо 100%, либо 0%. Длительность времени эффективного сжатия компрессора постоянно меняется, при этом длительность всего цикла может достигать 30 секунд. Разгрузка компрессора обеспечивается посредством вертикального хода неподвижной спирали. Соленоидный клапан позволяет создать перепуск газа высокого давления для разгрузки спирального блока. При этом электродвигатель работает постоянно, что обеспечивает низкое потребление электроэнергии.

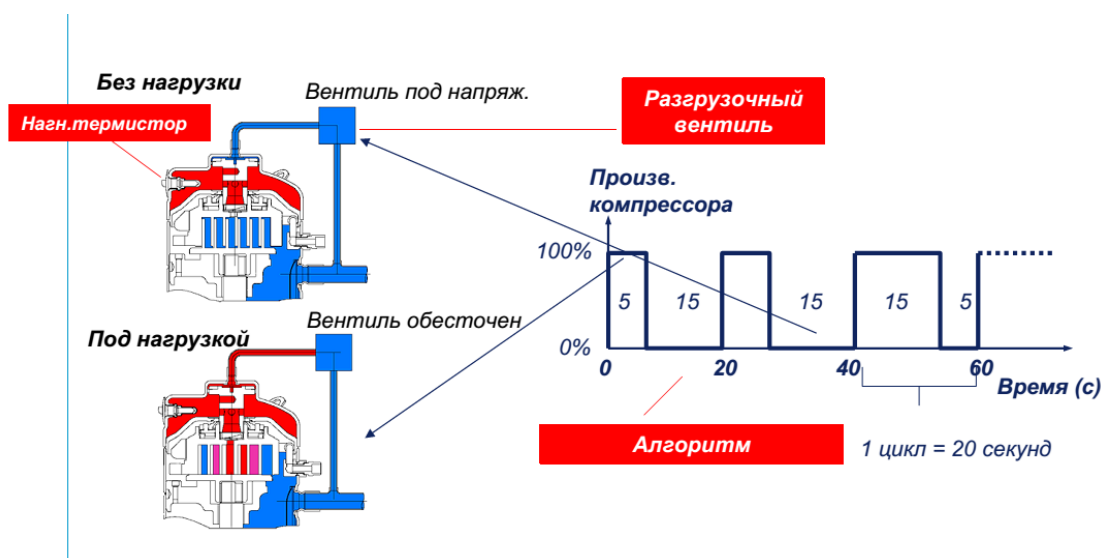


Рисунок 5 – Алгоритм работы

Рассмотрим пример работы компрессора согласно алгоритму (рис.6). Цикл работы составляет 20 с, если компрессор осуществляет сжатие в течении 10 с и не сжимает в течении 10 с, то производительность компрессора составляет 50%. Если компрессор сжимает в течении 5 с, то производительность равна 25%. Мощность регулируется в пределах 10 – 100% посредством изменения времени открытия соленоидного вентиля. Минимальная производительность соответствует настройке времени сжатия – 2 с.



Рисунок 6 – Цикл регулирования мощности

Такая конструкция компрессора позволяет прецизионно поддерживать температуру ($\pm 0,5^{\circ}\text{C}$) в системах кондиционирования и холодоснабжения за счет плавного регулирования и точного поддержания давления всасывания. При использовании компрессора в системах холодоснабжения большой протяженности не возникает проблем возврата масла в компрессор. Максимальный объем циркулирующего в системе масла составляет 1%, что обеспечивает очень низкий унос. При отключении спирального блока масло компрессор не покидает. Скорость перемещения газа по системе равна скорости при 100% производительности, что гарантирует возврат масла. Также наблюдается высокая энергетическая эффективность при частичной нагрузке. В разгруженном состоянии потребление энергии не превышает 500 Вт. Нет потерь в инверторе, которые обычно составляют от 10 до 25% мощности в зависимости от конструкции инвертора.

Некоторые технические характеристики компрессора Digital Scroll представлены на рисунках 7 и 8.

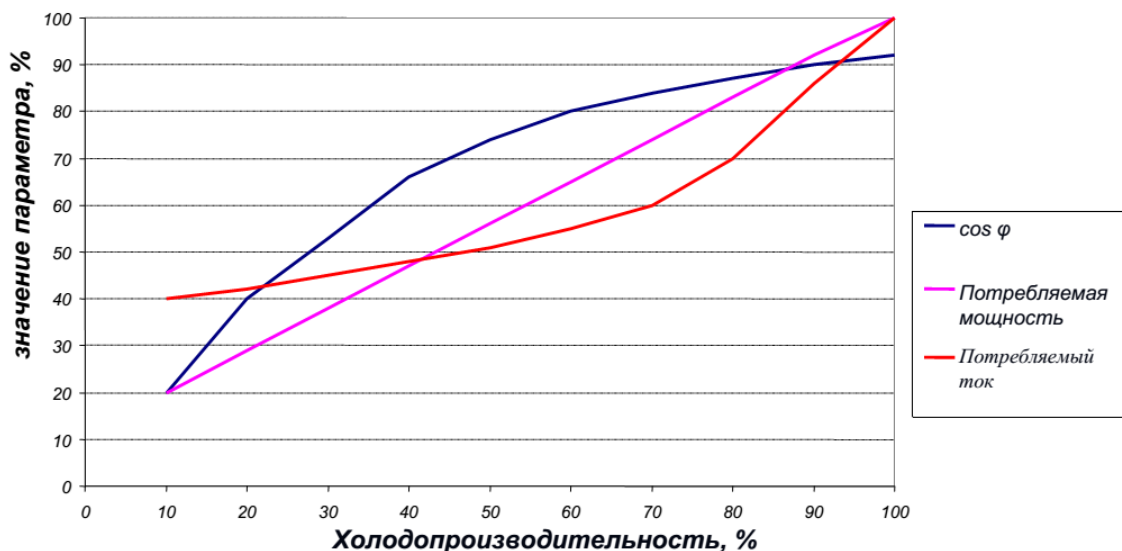


Рисунок 7 – Технические характеристики: взаимосвязь между потребляемой мощностью, потребляемым током и $\cos\phi$ и нагрузки на компрессор

COP ZBD 30 KCE при EN 12900 MT R404A

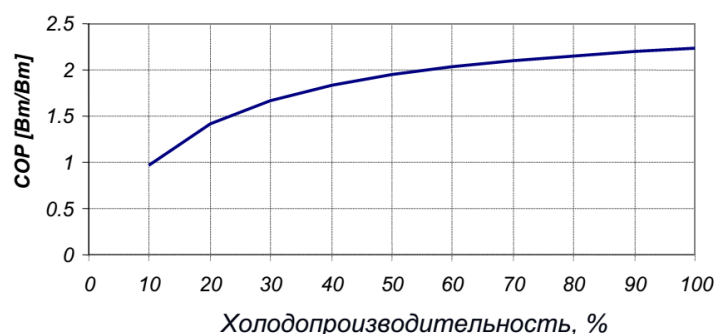


Рисунок 8 – Зависимость холодильного коэффициента от холодопроизводительности

Таким образом, использование в холодильной технике систем с компрессором Digital Scroll позволяет значительно повысить энергетическую эффективность и снизить стоимость по сравнению с инверторным компрессором. Обеспечивается более высокая надежность работы за счет применения механического метода регулирования по сравнению с электронным, что также полностью исключает электромагнитное излучение. Широкий диапазон регулирования холодопроизводительности не оказывает влияния на возврат масла в компрессор.

Список литературы

1. Сводка новостей eJARN.com [Электронный ресурс] –2019. – Режим доступа: <http://www.ejarn.com>.
2. Техническая информация Copeland [Электронный ресурс] – 2018. – Режим доступа: <http://www.copeland.su>.

УДК 534.282

ECOLOGY AND ENERGY EFFICIENCY IN THE DESIGN OF JET VENTILATION SYSTEMS OF UNDERGROUND PARKING

ЭКОЛОГИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ СТРУЙНЫХ СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ ПОДЗЕМНЫХ АВТОСТОЯНОК

<p>Sverdlov A.V.^{1a} Volkov A.P.^{1b}, Cand. Tech. Sc. Rykov S.V.^{2c}, Cand. Tech. Sc., associate professor Volkov M.A.^{2d}</p>	<p>Свердлов А.В.^{1a} Волков А.П.^{1b}, канд. тех. наук Рыков С.В.^{2c}, канд. тех. наук, доцент Волков М.А.^{2d}</p>
<p>1 – FlaktGroup Russia, Russia, 117418, Moscow, st. Profsoyuznaya 23 2 – ИТМО University, Russia, 197101, St. Petersburg, Kronverksky Avenue, 49</p>	<p>1 – FlaktGroup Россия, Россия, 117418, Москва, ул. Профсоюзная, д. 23 2 – Университет ИТМО, Россия, 197101, Санкт-Петербург, Кронверкский проспект, д. 49</p>
<p>E-mail: a – alexander.sverdlov@flaktgroup.com; b – alex78477@ya.ru; c – togg1@yandex.ru; d – alex78477@ya.ru</p>	

Буданов В.А. Обзор конструкций холодильных спиральных компрессоров Budanov V.A. Overview of refrigeration scroll compressor designs	50
Свердлов А.В., Волков А.П., Рыков С.В., Волков М.А. Экология и энергоэффективность при проектировании струйных систем вентиляции подземных автостоянок Sverdlov A.V., Volkov A.P., Rykov S.V., Volkov M.A. Ecology and energy efficiency in the design of jet ventilation systems of underground parking	56
Волчок В.А. Выбор зеотропных смесей хладагентов для парокомпрессионных тепловых насосов Volchok V.A. Choice of zeotropic mixtures of refrigerators for vapor-compression heat pumps	63
Бабакин Б.С., Воронин М.И., Малёв Р.Ю., Межевов А.В. Охлаждение элементов холодильных систем и пищевых продуктов с использованием электрофизических методов Babakin B.S., Voronin M.I., Malev R.Y., Mejevov A.V. Cooling of elements of refrigeration systems and food products using electrophysical methods	66
Георгиев Е.В. Выбор оптимальных параметров температуры при микроволновом экстрагировании Georgiiev E.V. Selection of optimal temperature parameters during microwave extraction	69
Данько В.П. Исследование гидродинамики теплообменных аппаратов систем жизнеобеспечения от свойств абсорбента Danko V.P. Study of hydrodynamics of heat and mass transfer devices of life support systems from the properties of the absorbent	73
Евдокимов В.С., Максименко В.А., Кузьменков А.А., Рожков Н.С. Компрессорный холодильный агрегат для термостабилизаторов грунта Evdokimov V.S., Maksimenko V.A., Kuzmenkov A.A., Rozhkov N.S. Refrigeration unit for soil thermostabilizer	78
Жихарева Н. В., Хмельнюк М.Г. Оптимизация многозональных VRF систем кондиционирования воздуха Zhykharieva N.V., Khmelniuk M.G. Optimization of multi-zone VRF air-conditioning systems	82
Акимов А., Кабулов Б.Б., Мустафаева А.К., Бакиева А.Б., Ташыбаева М.М. Способ измельчения замороженного мясного сырья Akimov A., Kabulov B.B., Mustafaeva A.K., Bakieva A.B., Tashybaeva M.M. The method of grinding frozen raw meat	87
Какимов А.К., Суйчинов А.К., Есимбеков Ж.С., Байкадамова А.М., Кабдылжар Б.К. Низкотемпературная обработка сырья при получении мясокостной пасты Kakimov A.K., Suychinov A.K., Yessimbekov Zh.S., Baikadamova A.M., Kabdylzhar B.K. Low-temperature processing of raw materials in the production of meat-bone paste	89