НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

УДК-621.56

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ИСТОРИЧЕСКАЯ ЭВОЛЮЦИЯ СОВРЕМЕННЫХ ОХЛАДИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Байрамова Бахар
Старший преподаватель, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Ашхабад Туркменистан

Дурдыев Сахетдурды
Старший преподаватель, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Ашхабад Туркменистан

Гурдова Джерен
Преподаватель, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Ашхабад Туркменистан

Арслан Гурбангельдиев
Студент, Международного университета нефти и газа имени Ягшыгелди Какаева
г. Ашхабад Туркменистан

Аннотация

В настоящей масштабной фундаментальной исследовательской работе осуществляется детальный, глубоко развернутый, исчерпывающий, многоаспектный и всеобъемлющий научно-теоретический анализ охлаждающих систем как важнейшего достижения инженерной мысли, прикладной термодинамики и теплофизики, охватывающий весь исторический путь развития искусственного холода от древнейших ледников и первых компрессорных машин до современных инверторных чиллеров и микрокапиллярных систем терморегулирования. В центре внимания находится исследование универсальности уравнений тепломассопереноса, термодинамических циклов обратного Карно и Лоренца в условиях колоссальных тепловых нагрузок, фазовых переходов хладагентов нового поколения, а также сложнейшей гидродинамики многофазных потоков в микроканальных теплообменниках. В статье подробно рассматриваются математические модели конвективного теплообмена, влияние термодинамических свойств озонобезопасных фреонов и углеводородов на холодильный коэффициент, эволюция конструктивных особенностей герметичных компрессоров и пластинчатых теплообменников, а также специфика проектирования энергоэффективных климатических комплексов для

промышленной индустрии и дата-центров. На основе комплексного междисциплинарного синтеза технической термодинамики, гидрогазодинамики, материаловедения и теории автоматического управления формулируются фундаментальные принципы понимания охлаждающих систем как универсальной модели термодинамической оптимизации искусственного климата.

Ключевые слова: охлаждающие системы, термодинамический цикл, компрессор, хладагент, теплообменник, конвективный теплоперенос, испаритель, конденсатор, энергоэффективность, теплофизика.

Введение

Охлаждающие системы занимают совершенно исключительное, центральное и системообразующее положение в структуре современной промышленности, энергетики, бытовой инфраструктуры и научных исследований, выступая не просто как техническое средство отведения избыточного тепла, а как универсальная основа поддержания теплового баланса искусственной среды обитания человека. На базе этих инженерных комплексов на протяжении полутора столетий человечество обеспечивает сохранность продовольствия, безопасность фармацевтических препаратов, круглогодичный комфорт в жилых и общественных зданиях, а также бесперебойное функционирование мощнейших вычислительных центров и космических аппаратов. Способность холодильных машин сочетать глубокое криогенное замораживание с точным прецизионным кондиционированием, высокую производительность с непрерывным снижением энергопотребления сделала их критически важным элементом глобальной технологической инфраструктуры. Исторический путь охладительных систем представляет собой удивительный синтез прецизионной механики, фундаментальных законов термодинамики и эволюции химической промышленности, создавшей новые поколения безопасных хладагентов. От примитивных ледников древности и громоздких паровых машин девятнадцатого века до современных высокотехнологичных инверторных установок с электронными расширительными вентилями, охлаждающие системы прошли колоссальную эволюционную дистанцию. Изучение этапов становления и физических принципов работы этого оборудования позволяет понять глубинную логику развития материальной культуры человечества, объединяя точные теплотехнические расчеты с высшими достижениями инженерного гения. Цель данного масштабного научного исследования заключается в проведении глубокого, систематического и всестороннего анализа исторических этапов, конструктивных инженерных инноваций и термодинамических функций охлаждающих систем в контексте современной мировой науки. Выявление закономерностей совершенствования процессов кипения, конденсации и циркуляции рабочих тел позволяет продемонстрировать глубокое единство точных физических наук и прикладной инженерии, а также наметить ориентиры для дальнейшего историко-технического и технологического осмысления холодильного оборудования.

Предшественники искусственного холода: от естественного льда к первым экспериментальным установкам

Прежде чем в девятнадцатом веке появились первые промышленные холодильные машины, человечество на протяжении тысячелетий зависело от природных источников холода и сезонной заготовки льда. В Древнем Риме, Египте, Китае и на Ближнем Востоке строились грандиозные подземные хранилища — ледники и ямы-юхо, куда зимой с помощью караванов доставлялся лед из горных районов или замерзших водоемов, позволяя сохранять скоропортящиеся продукты и охлаждать напитки в летний зной. Организация сбора, транспортировки и хранения льда превратилась в масштабную отрасль экономики, существовавшую вплоть до начала двадцатого века. Первые научные предпосылки к созданию искусственного холода возникли в эпоху научной революции семнадцатого и восемнадцатого веков, когда физики начали экспериментировать с испарением жидкостей под вакуумом и растворением солей в воде, вызывающим резкое падение температуры. Шотландский ученый Уильям Каллен в одна тысяча семьсот сорок шестом году продемонстрировал первый искусственный процесс кипения диэтилового эфира в вакуумном колоколе, что привело к образованию небольшого количества ледяной корки. Эти лабораторные опыты доказали принципиальную возможность получения холода за счет термодинамического эффекта фазового перехода жидкости в газообразное состояние при пониженном давлении. Однако эти ранние эксперименты носили чисто демонстрационный характер и не имели замкнутого цикла регенерации рабочего тела, что делало их непригодными для практического применения в быту или промышленности. Потребность в искусственном холоде резко возросла в период промышленной революции, когда развитие пивоварения, химического производства и трансокеанской транспортировки мяса потребовало создания надежных, автономных и непрерывно действующих охлаждающих аппаратов, способных поддерживать заданную температуру независимо от внешних климатических условий.

Изобретение компрессорного цикла и рождение промышленной холодильной техники

Революционный прорыв в истории мировой теплотехники произошел в первой половине и середине девятнадцатого века, когда выдающиеся инженеры и ученые разработали принципиальную схему паровой компрессорной холодильной машины, использующей замкнутый термодинамический цикл. Французский инженер Фердинанд Карре и американский изобретатель Джейкоб Перкинс заложили основы аппаратурного оформления холодильного дела. Перкинс в одна тысяча восемьсот тридцать четвертом году запатентовал первый работающий прототип холодильной машины на основе летучего агента, а Карре в одна тысяча восемьсот пятьдесят девятом году создал абсорбционную холодильную машину, нашедшую широкое применение на транспорте и в быту. Параллельно выдающийся американский врач и изобретатель Джон Гори сконструировал компрессорную машину для охлаждения воздуха в больницах и производства

льда для малярийных больных во Флориде, получив патент в одна тысяча восемьсот пятьдесят первом году. Гениальность изобретения компрессорного цикла заключалась в циклическом переводе рабочего тела из жидкого состояния в газообразное и обратно с последовательным изменением давления и температуры в замкнутом контуре. Цикл состоял из четырех фундаментальных процессов: сжатия паров хладагента в компрессоре, их конденсации с выделением теплоты в окружающую среду, дросселирования через капилляр или вентиль с резким падением давления и температуры, а также кипения хладагента в испарителе с поглощением теплоты от охлаждаемого объекта. Долгое время развитие холодильной техники сдерживалось токсичностью и взрывоопасностью ранних хладагентов, таких как аммиак, сернистый газ и метилхлорид, которые требовали чрезвычайной осторожности при монтаже и эксплуатации оборудования. Тем не менее, спрос со стороны мясокомбинатов, скотобоен и крупных пивоваренных заводов стимулировал быстрое совершенствование компрессорного оборудования, превратив холодильное дело в самостоятельную и высокорентабельную отрасль тяжелого машиностроения.

Эволюция хладагентов: от опасных соединений до экологически безопасных фреонов

Во второй половине двадцатого века химическая промышленность совершила грандиозный технологический прорыв, разработавший класс синтетических хладагентов — хлорфторуглеродов, вошедших в историю под торговой маркой фреонов. До этого момента в холодильных машинах доминировали природные и токсичные рабочие тела, вызывавшие аварии и человеческие жертвы при разгерметизации контуров. В одна тысяча девятьсот тридцатом году исследовательская группа компании General Motors под руководством Томаса Миддгли синтезировала дихлордифторметан, известный как фреон-12, обладавший уникальными термодинамическими свойствами: высокой химической инертностью, негорючестью, взрывобезопасностью и отсутствием токсичности для живых организмов. Это открытие вызвало подлинную революцию в холодильной индустрии, позволив создать бытовые холодильники и автомобильные кондиционеры, безопасные для массового потребителя. На протяжении десятилетий фреоны R-12 и R-22 широко применялись в коммерческом и промышленном холоде, обеспечивая высокую эффективность работы компрессорных станций. Однако в конце двадцатого века фундаментальные научные исследования атмосферных процессов выявили глобальную экологическую угрозу: хлорсодержащие фреоны под воздействием солнечного ультрафиолетового излучения в стратосфере распадались с выделением атомов хлора, разрушающих озоновый слой Земли. Это привело к подписанию в одна тысяча девятьсот восемьдесят седьмом году исторического Монреальского протокола, запретившего производство озоноразрушающих веществ. Инженерное сообщество и химическая наука ответили на этот вызов созданием новых поколений хладагентов — гидрофторуглеродов, а в дальнейшем природных углеводородов, диоксида углерода и аммиака в современных

безопасных контурах, что позволило сохранить высокую энергоэффективность холодильных установок при полном восстановлении озонового слоя планеты.

Физико-математическое моделирование тепломассопереноса и термодинамика циклов охлаждения

Теплофизическое ядро любой современной охлаждающей системы составляет сложный комплекс нелинейных уравнений термодинамики сплошных сред, описывающих процессы фазовых переходов, теплопроводности и гидродинамического сопротивления в трубах и теплообменниках. Математическое описание работы компрессора основывается на уравнениях сохранения массы, импульса и энергии для потока газа, с учетом политропного характера сжатия и механических потерь на трение в поршневых или спиральных механизмах. В испарителе и конденсаторе происходят интенсивные процессы кипения и конденсации движущихся двухфазных потоков, требующие применения сложных эмпирических и полуэмпирических моделей теплоотдачи, учитывающих структуру течения пленки жидкости и пузырьковое кипение. Расчеты показывают, что коэффициент полезного действия холодильной машины определяется холодильным коэффициентом, представляющим собой отношение полезной холодопроизводительности к затраченной механической или электрической энергии компрессора. Согласно второму началу термодинамики, этот коэффициент всегда меньше или равен коэффициенту идеального обратного цикла Карно, зависящему исключительно от температур кипения хладагента в испарителе и конденсации в конденсаторе. Современные суперкомпьютерные методы вычислительной гидродинамики позволяют рассчитывать локальные поля скоростей и температур внутри рабочих полостей компрессоров и каналов теплообменников с точностью до долей процента, открывая путь к проектированию высокоэффективных и компактных агрегатов с минимальным гидравлическим сопротивлением.

Инженерный прорыв двадцатого века: пластинчатые теплообменники и герметичные компрессоры

Бурное развитие городской инфраструктуры, электроники и бытовой техники в двадцатом веке потребовало от производителей охлаждающих систем радикального пересмотра конструктивных параметров агрегатов, уменьшения их габаритов и повышения надежности работы. Ранние открытые компрессоры с сальниковыми уплотнениями вала постоянно страдали от утечек дорогостоящих хладагентов и требовали регулярного технического обслуживания. Исторический прорыв совершили инженеры, разработавшие полностью герметичные и полугерметичные компрессоры, в которых электродвигатель и компрессорный узел объединены в едином сварном или разборном корпусе, исключающем любые утечки рабочего тела через вращающийся вал. Параллельно происходила эволюция теплообменной аппаратуры: на смену громоздким кожухотрубным аппаратам пришли паяные пластинчатые теплообменники из нержавеющей стали, соединенные методом вакуумной пайки медью или никелем. Рифленая геометрия

пластин создает мощные турбулентные потоки жидкости и газа даже при низких скоростях движения, что многократно интенсифицирует теплообмен и позволяет уменьшить габариты испарителей и конденсаторов в несколько раз. Инженерные расчеты показывают, что коэффициент теплопередачи в пластинчатых аппаратах превосходит традиционные трубчатые аналоги на триста-четыреста процентов, обеспечивая мгновенную реакцию системы на изменение тепловой нагрузки. Эти конструктивные решения стали фундаментом для создания современных бытовых кондиционеров, мультизональных VRF-систем и компактных чиллеров для кондиционирования зданий любой этажности.

Охлаждающие системы в эпоху цифровизации и зелено-энергетического перехода

Двадцать первый век стал эпохой тотальной цифровизации и жестких экологических требований, когда охлаждающие системы превратились в интеллектуальные энергосберегающие комплексы, управляемые микропроцессорными контроллерами на базе искусственного интеллекта. Практически каждый современный кондиционер или промышленный чиллер оснащается инверторным компрессором с переменной частотой вращения электродвигателя, что позволяет плавно регулировать холодопроизводительность в диапазоне от десяти до ста процентов в зависимости от текущей тепловой нагрузки, избегая энергозатратных циклов постоянного включения и выключения. В сфере обеспечения микроклимата дата-центров, обрабатывающих массивы данных облачных вычислений и искусственного интеллекта, традиционное воздушное охлаждение исчерпало свои возможности из-за колоссальной плотности тепловыделения серверных стоек. Это потребовало внедрения передовых систем жидкостного и иммерсионного охлаждения, в которых серверные платы погружаются в диэлектрические жидкости с высокой теплоемкостью, обеспечивающие прямой отвод тепла от процессоров с минимальным энергопотреблением на собственные нужды вентиляции. Параллельно в промышленности активно внедряются абсорбционные чиллеры, работающие на сбросном тепле технологических процессов или солнечной энергии, что позволяет снизить потребление электрической энергии почти до нуля. Развитие нейросетевых алгоритмов прогнозирования погоды и анализа тепловых нагрузок зданий открывает новые горизонты для предиктивного управления климатическими комплексами, обеспечивая максимальную экономию энергоресурсов и поддерживая строжайшие стандарты экологической безопасности.

Заключение

Подводя окончательный, глубоко структурированный, фундаментальный, всеобъемлющий и системный итог проведенному детальному научно-исследовательскому анализу охлаждающих систем, можно с абсолютной академической и практической уверенностью констатировать, что данное оборудование представляет собой вершину инженерной мысли, прикладной

термодинамики и теплофизического искусства. Единство нелинейной термодинамики фазовых переходов хладагентов, гидродинамической эффективности микроканальных теплообменников, прецизионной кинематики инверторных компрессоров и современных интеллектуальных систем управления создает несокрушимый фундамент для бесконечного развития холодильной индустрии в двадцать первом веке и в далеком будущем.

Литература

1. Балакин В. Н. Техническая термодинамика и теплопередача. — М.: КолосС, 2020. — 416 с.
2. Кошкин Н. Н., Тольский И. А. Тепловые и холодильные машины. — М.: Машиностроение, 2019. — 480 с.
3. Долинский А. А. Интенсификация тепломассообмена в энерготехнологических процессах. — Киев: Наукова думка, 2020. — 350 с.
4. Цветков О. Б. Холодильные агенты и масла: термодинамические свойства. — СПб.: СПбГУНиПТ, 2021. — 290 с.
5. Гусев В. И. Компрессорные и холодильные машины химических производств. — М.: Химия, 2020. — 384 с.
6. Данилов Ю. А. Термодинамические основы холодильной техники. — М.: Пищевая промышленность, 2020. — 312 с.
7. Бондаренко В. Л., Яцун С. А. Энергосберегающие технологии в системах кондиционирования и холодоснабжения. — М.: ИНФРА-М, 2021. — 340 с.
8. Сажин Б. С. Основы техники сушки и охлаждения материалов. — М.: Химия, 2020. — 448 с.
9. Stoecker W. F., Jones J. W. Refrigeration and Air Conditioning. — New York: McGraw-Hill, 2020. — 560 p.
10. Dossat R. J. Principles of Refrigeration. — Upper Saddle River: Prentice Hall, 2021. — 704 p.