

УДК 536.242

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАГНИТОКАЛОРИЧЕСКОГО ЭФФЕКТА В ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ УСТРОЙСТВАХ

Короткин Р.А., Чернявский Н.А., Яновский А.А.

ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», Ставрополь,
e-mail: RAKorotkin@yandex.ru

За последнее столетие магнитокалорический эффект был детально изучен, заинтересованность к нему не только не упала, но, наоборот, резко возросла в последние десятилетия. Это объясняется тем, что данные, полученные из измерений используются для получения информации о магнитных структурах и их видоизменении. Вызывает интерес и использование магнитокалорического эффекта при разработке и создании холодильных устройств. В таких устройствах магнитное рабочее тело выступает в качестве хладагентов, используемых в традиционных холодильных установках с газом в качестве рабочего тела, а процесс намагничивания-размагничивания – является аналогом циклов сжатия – расширения. В разрабатываемой нами холодильной установке мы предлагаем использовать в качестве магнитного рабочего тела магнитную жидкость на основе редкоземельных металлов.

Ключевые слова: магнитокалорический эффект, магнитная холодильная машина, магнитотепловой насос, магнитная жидкость

USE OF THE MAGNETOCALORIC EFFECT IN HEAT ENGINEERING DEVICES

Korotkin R.A., Chernyavsky N.A., Yanovskii A.A.

Stavropol State Agrarian University, Stavropol, e-mail: RAKorotkin@yandex.ru

Over the last century, the magnetocaloric effect has been studied in detail, interest in it has not only not fallen, but, conversely, has increased dramatically in recent decades. This is because data obtained from measurements are used to obtain information about magnetic structures and their modification. The use of the magnetocaloric effect in the development and creation of refrigeration devices is also of interest. In such devices, the magnetic working medium acts as refrigerants used in conventional refrigeration units with gas as a working fluid, and the magnetization-demagnetization process is analogous to compression-expansion cycles. In the refrigeration unit we develop, we propose to use a magnetic fluid based on rare earth metals as a magnetic working medium.

Keywords: magnetocaloric effect, magnetic chiller, magneto-thermal pump, magnetic fluid

Магнитокалорический эффект (МКЭ) – это изменение температуры магнетика в результате обратимого выделения или поглощения тепла при воздействии магнитного поля на вещество. Данный эффект, проявляющийся в адиабатных условиях, представляет большой интерес в связи с потенциальным применением его в теплотехнических устройствах. Использование этого эффекта позволяет изучать взаимодействия и изменение магнитных структур в магнетиках. Для реализации адиабатических условий необходима адиабатическая оболочка, которая будет изолировать магнетик от тепловых потоков, возникающих со стороны окружающей среды. Создание адиабатического процесса также возможно при быстром включении и выключении магнитного поля, когда теплопередачей можно пренебречь [1].

МКЭ измеряется двумя методами прямым и косвенным. Прямой метод состоит в измерении изменения температуры образца при адиабатическом приложении или снятии внешнего магнитного поля. Косвенные методы позволяют определить значения энтропии при изотермическом намагничивании образца, например, основываясь на анализе семейства изотермических кривых намагничивания. При косвенном методе рассчитывается изменение энтропии из соотношения Максвелла для двух близких по температуре кривых намагничивания:

Максимальных значений

$$\Delta S(\Delta T, H) = \int_0^H \left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_{H,p} dH.$$

$$\left(\frac{\partial M}{\partial T} \right)_{H,p},$$

а следовательно и величин изменения температуры и энтропии следует ожидать в окрестностях магнитных фазовых переходов. Вблизи температуры перехода термодинамическое описание становится не вполне корректным, так для переходов первого рода в силу необратимости соотношение, может быть справедливо только в случае неравенства, а вычисление значения изменения энтропии с помощью соотношений Максвелла приводит к получению сильно завышенных значений. Примером тому служит эксперимент в котором была вычислена величина изменения энтропии 330 кДж/(кг·К) для сплава на основе мар-

ганца, железа и мышьяка, этот результат был пересмотрен в опыте с использованием уравнения Клайперона-Клаузиуса для получения более реалистичного значения 26 кДж/(кг·К). Таким образом прямой метод позволяет получать более правдоподобные значения величины МКЭ.

Хотя МКЭ был открыт более ста лет назад, в настоящее время к нему проявляется значительный интерес. Исследование данного эффекта позволяет получить важную информацию о характеристиках магнитного упорядочения, обменных и магнито-кристаллических взаимодействиях, о трансформации магнитных структур при действии магнитного поля.

Эффект постоянно изучается хотя последние наработки уже позволяют реализовывать магнитотепловые насосы и магнитные охладители. Все чаще ученые приходят к мнению, что компрессионные холодильники уже достигли предела своего развития в плане повышения эффективности. По мнению специалистов, как только будет найден материал, удовлетворяющий техническим (требуется значительный МКЭ в определенном диапазоне температур и материал с долговременной стабильностью) и экономическим (более распространенный, нежели родий или гадолиний) требованиям, через несколько лет магнитные холодильники полностью вытеснят все существующие типы холодильников. На сегодняшний день существует более 56 прототипов, однако пока нет информации о начале широкомасштабного производства таких изделий. Маг-

нитный холодильник выгодно отличается от традиционных своей энергоэффективностью, надежностью, экологичностью и безопасностью для человека. В этих устройствах не используются хлор-фтор-углероды, элементы уничтожающие озоновый слой, а также являющиеся ядовитыми для человека особенно в процессе сгорания. Величина МКЭ и, следовательно, эффективность процесса охлаждения в магнитном холодильнике определяется свойствами магнитных рабочих тел. Были проанализированы многочисленные возможные комбинации редкоземельных и магнитных металлов и других материалов с точки зрения поиска оптимальных сплавов для реализации магнитного охлаждения в различных диапазонах температур. Среди исследованных материалов с высокими магнетокалорическими свойствами соединение (сплав железа с родием) обладает наибольшим удельным магнетокалорическим эффектом. Величина удельного МКЭ для этого соединения в несколько раз больше, чем в соединениях силицидов-германидов. Этот сплав из-за высокой стоимости родия не подходит для масштабного производства, однако, он может служить своеобразным эталоном, с которым следует сравнивать магнетокалорические свойства исследуемых материалов.

В качестве рабочих тел предлагается использовать редкоземельные магнетики, сплавы Гейслера, арсенид марганца $MnAs$, и др., обладающие большим МКЭ и изменением магнитной энтропии в удобных для работы таких машин интервалах температур.

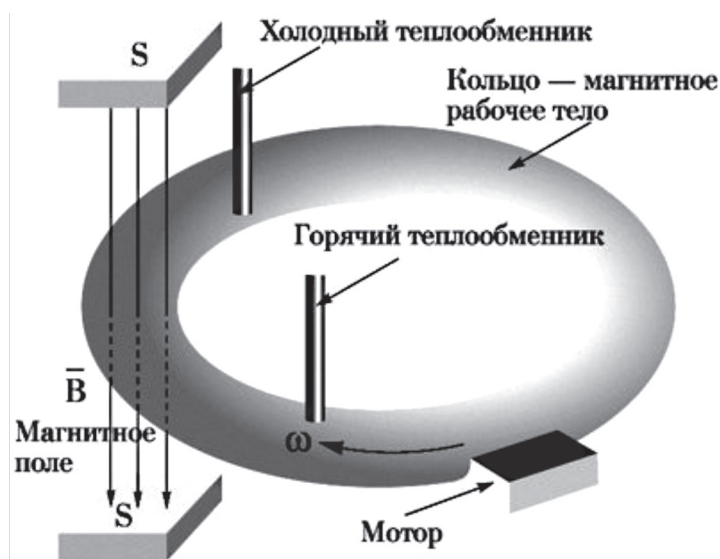


Схема магнитной холодильной машины

Однако ни одно из вышеперечисленных соединений не может быть использовано для проектирования бытовых охладителей в связи с необходимостью высоких полей или большого приложенного внешнего давления, что ведет к усложнению конструкции и увеличению размеров и стоимости конечного устройства. Поиск оптимального соединения для построения магнитных холодильников, и совершенствование технологий изучения МКЭ приоритетная задача на будущее.

Кроме магнитных холодильников также стоит упоминания разработка магнито-тепловых насосов, так как подавляющее большинство современной климатической техники представляют собой компрессорные устройства. Работа таких устройств базируется на холодильном цикле Карно, который описывает процессы изменения агрегатного состояния хладагента под воздействием давления. На протяжении многих лет этот принцип хорошо зарекомендовал себя с точки зрения надежности. Но он уже не соответствует современным требованиям, как экологии, так и экономики. Поэтому в настоящее время инженеры многих климатических компаний работают над разработкой нового поколения оборудования, которые было бы экологически безопасно для окружающей среды и работало с меньшими энергозатратами.

В настоящее время разрабатываются технологии производства магнитного теплового насоса. Разработчики провели презентацию, во время которой показали, что технология магнитного теплового насоса обладает более высоким коэффициентом эффективности, и в ближайшем будущем может занять место парокомпрессионного цикла, на котором базируется работа нынешних тепловых насосов.

В основе принципа работы магнитного теплового насоса лежит магнетокалорический эффект. Более ярко эффект проявляется у пара- и ферромагнетиков. Попадая во внешнее магнитное поле, эти вещества начинают намагничиваться и вырабатывают тепло. Это достигается за счет переориентации магнитных моментов микрочастиц вдоль силовых линий поля. Когда вещества

покидают внешнее магнитное поле, они размагничиваются. Это приводит к тому, что на разупорядочение магнитных моментов тратится кинетическая энергия парамагнетиков и ферромагнетиков, что приводит к снижению температуры.

Подобная технология магнитного охлаждения и обогрева имеет ряд преимуществ по сравнению с классической схемой. В первую очередь, это высокая энергоэффективность. По коэффициенту преобразования электроэнергии в холод подобные магнитные установки уже сегодня превосходят компрессорные образцы. Коэффициент полезного действия лабораторного прототипа такой магнитной холодильной машины составил 60%, в то время как лучший показатель традиционной установки едва достигает 40%. К тому же, работа магнитной климатической техники более близка к идеальному тепловому циклу. Перспектива управления теплообменными процессами с помощью магнитного поля является также важным направлением и в теплофизике кипения магнитных жидкостей [2–5].

Что касается экологичности, то и здесь «новинка» обещает быть успешной по причине замены в ней хладагентов, которые негативно влияют на озоновый слой нашей планеты, обычной водой. Обеспечение плавной работы и отсутствие вибраций, свойственных компрессорным устройствам, является плюсом в пользу магнитных устройств.

Список литературы

1. Игропуло В.С., Яновский А.А. Математическое моделирование некоторых ориентационных процессов на наноповерхностях // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2008. – Т. 15; № 3. – С. 484–485.
2. Математическое моделирование и разработка систем охлаждения процессоров персональных компьютеров / А.А. Яновский, Я.В. Каныгин // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–4. – С. 496–498.
3. Моделирование отрыва пузырьков пара в кипящей магнитной жидкости / Яновский А.А., Симоновский А.Я., Холопов В.Л. // Физико-химические и прикладные проблемы магнитных дисперсных наносистем: V Всероссийская научная конференция с международным участием: сборник научных трудов, 2015. – С. 239–246.
4. Перспективы развития и моделирования систем охлаждения процессоров ПК с использованием магнитной жидкости в качестве охлаждающей среды / А.А. Яновский, А.Я. Симоновский, П.А. Хаустов // Международный студенческий научный вестник. – 2015. – № 3–4. – С. 498–499.
5. Фертман В.Е. Магнитные жидкости: Справочное пособие. – Минск: Высш. шк., 1988. – 184 с.