

Управление теплоемкостью воды в теплоэнергетике

Краснобрыжев В.Г.

г. Киев, тел. +38 044 4059675, +38 097 5609593

E-mail: vkentron@gmail.com

В настоящее время развитие теплоэнергетики в основном направлено на создание высокоэффективных котлов, оснащенных автоматизированными системами управления. Внедряются новые, более эффективные системы теплоснабжения, позволяющие добиться максимальной экономии тепловой и электрической энергии. Осуществляется перевод котлов с угольного на газовое топливо.

В то же время не существует сведений о работах, направленных на повышение эффективности термодинамических процессов в котлах за счет уменьшения теплоемкости воды.

Согласно классического определения удельной теплоёмкостью вещества C_V называют физическую величину, численно равную количеству теплоты, которое необходимо для изменения температуры 1 кг вещества на 1°C . Не смотря на то, что это определение классическое, и блестяще подтверждалось в экспериментах, однако в ряде случаев поведение теплоемкости не совпадало с требованиями теории. Так, например, поведение теплоемкости газов (при постоянном давлении) при низких температурах не соответствовало предсказываемому теоретически, а атомная теплоемкость некоторых твердых тел (алмаз) была более чем в 2 раза меньшей теоретической. Связано это было с существованием квантов.

В 1907 году Эйнштейн, воспользовавшись понятием кванта, дал объяснение загадочных расхождений между предсказаниями теории и экспериментальными измерениями удельной теплоемкости тел. В соответствии с этой теорией, удельная теплоемкость представляется в виде [1]:

$$C_V = 3R [(\nu\hbar/kT)^2 e^{\nu\hbar/kT} (e^{\nu\hbar/kT} - 1)^{-2}], \quad (1)$$

где R – универсальная газовая постоянная (8,3 Дж/моль К), ν – частота осциллятора, \hbar – постоянная Планка ($1,06 \cdot 10^{-34}$ Дж с), k – постоянная Больцмана ($1,4 \cdot 10^{-23}$ Дж/К), T – температура.

Из этого уравнения следует, что в двух предельных случаях при $T \rightarrow 0$ и $T \rightarrow \infty$ оно согласуется с опытом:

$$\lim_{\nu\hbar/kT \rightarrow 0} C_V = 3R$$

Не смотря на то, что в вычислении удельной теплоемкости значительно лучшие результаты дает теория Дебая, мы воспользуемся уравнением Эйнштейна. В нем $\nu h/kT = S$ – есть энтропия. Следовательно, уравнение (1) может быть записано в виде:

$$C_v = 3R [S^2 e^S (e^S - 1)^{-2}] \quad (2)$$

В жидкостях и твердых телах наряду с кинетической энергией теплового движения атомов или молекул, существенную долю внутренней энергии вещества составляет потенциальная энергия. Она определяется взаимодействием между атомами или молекулами и их взаимным расположением. А флуктуации потенциальной энергии определяют теплоемкость системы при постоянной температуре.

Известно также, что потенциальная энергия взаимодействия между частицами зависят от взаимной ориентации их спинов. Энергетическая выгодность состояния с определенной взаимной ориентацией спинов объясняет ферромагнетизм и антиферромагнетизм, предопределяет характер ряда химических превращений [2].

Энтропия системы, с учетом распределением ядерных спинов, может быть записана в виде:

$S = \ln(N-/N+)$, где $N-$ и $N+$ - заселенность энергетических уровней.

В условиях термодинамического равновесия $N+ > N-$ существует избыток ядерных спинов на низшем энергетическом уровне. Разница эта очень малая и для 1000000 спинов на уровне $N+$ имеем 1000007 спинов на уровне $N-$ [3].

Используя уравнение (2) вычислим теплоемкость в условиях термодинамического равновесия, учитывая, что $S = \ln(N-/N+) = \ln(1000007/1000000)$:

$$C_v = 3R \cdot 0,99999 = 24,9 \text{ Дж/моль К.}$$

В случае увеличения разницы спиновой “заселенности” энергетических уровней будет изменяться и теплоемкость. Так если $S = \ln(1900007/100000)$, теплоемкость уменьшится и составит:

$$C_v = 3R \cdot 0,5013 = 12,48 \text{ Дж/моль К.}$$

Из выше сказанного можно сделать вывод, что уменьшения теплоемкости при нормальной (293К и более) температуре можно достичь только за счет изменения “заселенности” энергетических квантовых уровней ядерными спинами. При этом особый интерес представляют такие спиновые состояния, когда на одном квантовом уровне, характеризующем одну из собственных колебательных частот материальной среды, выстраивается максимально возможное количество спинов. Спиновые взаимодействия распространяет упорядоченную ориентацию собственных моментов количества движения одних ядерных частиц на другие, и приводят к установлению единой (с учетом прецессии) их ориентации [4, 5]. Такое состояние относится к когерентному, при этом за счет взаимодействия спин-решетка теплоемкость материальной среды будет уменьшаться [6].

К специфичным спиновым взаимодействиям относятся спин-спиновые взаимодействия, которые проявляются в передаче упорядоченной ориентации одной системы ядерных спинов другой и в самопроизвольном установлении при этом единой «средневзвешенной» ориентации различно (в том числе противоположно) направленных спинов. Ввиду направленного характера и возможности накопления ориентационного воздействия (в отличие от хаотических возмущений) оно может оказаться достаточным для упорядочивания не только микро, но и макросистем [5].

Специфичность этого взаимодействия признается квантовой механикой, согласно которой главную роль в установлении спин-спинового равновесия играет некоторое особое (полевое) взаимодействие тождественных частиц. Оно согласуется с концепцией «А-полей» Р. Утиямы [7], согласно которой каждому независимому параметру частицы a_i , удовлетворяющему закону сохранения, соответствует свое материальное поле A_i , через которое осуществляется взаимодействие между частицами, соответствующее данному параметру.

К такому виду поля может быть отнесено спиновое поле, в отношении которого академик М. Марков сказал, что “с самого начала появления в физике спиноров возникла и живет идея фундаментальности именно спинорных полей, которые, возможно, определяют структурно и все другие поля” [8]. При этом, спинорные поля на макроскопическом уровне, могут быть следствием коллективного проявления упорядоченных ядерных и атомных спинов. Для этого необходимо, чтобы ядерные и атомные спины были параллельны и однонаправлены, что реализуется в структурах с ориентированными ядрами [9-12].

В связи с этим, спиновое поле можно генерировать с помощью устройств, созданных на основе специально организованного ансамбля классических спинов, в котором реализуется максимальная энергия взаимодействия не только между соседними, но и удаленными спинами.

Принципы построения реального генератора спинорного поля (СП) изложены в [13]

Так как ориентированная спиновая система рассматривается нами как источник СП, то в соответствии с концепцией Р. Утиямы [7] объектом, чувствительным к воздействию излучаемого генератором СП, должна быть спиновая система материальной среды. Причем в отношении величины эффекта, система спинов имеет преимущество перед индивидуальным спином микрочастицы. Сложная неравновесная спиновая структура, обладающая большим запасом квазивырожденных по энергии состояний, может выполнять роль системы, в которой действие СП может накапливаться (спиновое насыщение) и приводить к заметным макроскопическим изменениям.

Исследования влияния спинового когерентного состояния воды на ее теплоемкость проводились с использованием калориметра KL-10. Характеристика калориметра: давление 28 ати; кислород – 100%; нагреваемая среда – вода с принудительной циркуляцией; температурный датчик – полупроводниковое термосопротивление; точность измерения температуры - $\pm 0,001^{\circ}\text{C}$.

Идеология исследований заключалась в том, что вследствие уменьшения теплоемкости воды в калориметре, вызванной ее спиновым когерентным состоянием, через 1 минуту после сжигания угля в калориметрической бомбе вода в калориметре должна быстрее нагреваться. На рис. 1 представлена схема эксперимента.

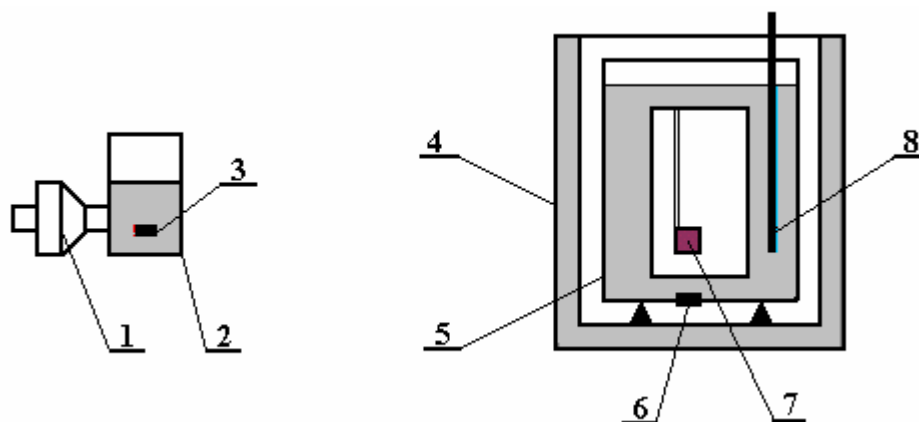


Рис. 1. 1 - генератор спирного поля, 2 – резонатор спиновых состояний, 3 - чип-транслятор, 4 – калориметр KL-10, 5 – емкость с нагреваемой водой, 6 – чип-индуктор, 7 – навеска угля в калориметрической бомбе, 8 – температурный датчик

В емкости с нагреваемой водой **5** помещался чип-индуктор **6**, который по каналу квантовой связи, создаваемому с использованием физики запутанных квантовых состояний (the physics of entangled quantum states), связан с чип-транслятором **3**. Чип-транслятор размещался в резонаторе спиновых состояний **2**, к которому подключен генератор СП **1**.

В калориметрической бомбе помещались навески угля **7** весом 1 г и калорийностью 5460 ± 20 ккал/кг, фракционный состав угля 0,6 – 0,8 мм.

После включения генератора СП **1** происходило возбуждение резонатора спиновых состояний **2** до требуемого уровня. Одновременно с возбуждением резонатора происходило возбуждение чип-транслятора **3**, который за счет эффекта запутанных квантовых состояний осуществлял трансляцию спинового возбуждения на чип-индуктор **6**. Чип-индуктор производил спиновую накачку воды в емкости **5** и переводил ее в беспрерывно удерживаемое спиновое когерентное состояние.

Количество измерений:

- 5 – для воды в равновесном состоянии,
- 5 – для воды в когерентном состоянии.

С использованием статистических данных результатов исследований построены графические зависимости изменения температуры воды в калориметре через 1 и 2 минуты после сжигания угля (рис. 2).

Из представленных на рис. 2 зависимостей видно, что в первую минуту после сжигания угля скорость нагрева воды, находящейся в когерентном состоянии, в 2 раза выше чем скорость нагрева воды находящейся в равновесном состоянии. Через 2 минуты этот эффект уменьшается, что связывается с увеличением интенсивности теплового рассеивания.

На основании калориметрических исследований можно сделать вывод, что спиновое когерентное состояние воды обуславливает снижение ее теплоемкости в 2 раза.

Апробация созданной системы снижения теплоемкости воды в производственных условиях проводилась в течение отопительного сезона с октября 2000 г. по апрель 2001 г. в условиях городской котельной оборудованной четырьмя котлами мощностью 12 МДж каждый. В качестве сравнительных, были выбраны отопительные сезоны 1997-1998, 1998-1999 и 1999-2000 годов. В котлах сжигался каменный уголь со средней калорийностью 5215 ккал/кг, зольность 10-15%, влажность 12-18%.

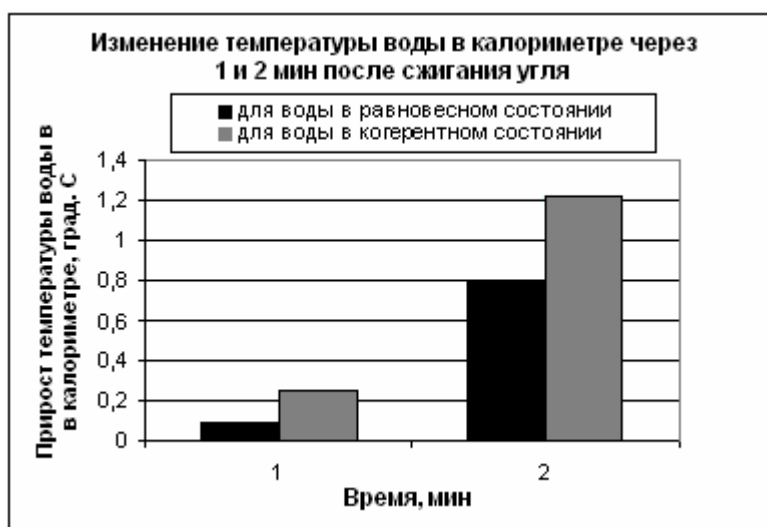


Рис. 2.

В результате проведенных экспериментов можно сделать следующие выводы:

1. Созданная система позволяет снижать теплоемкость воды ~ в 2 раза.
2. Апробация системы в производственных условиях позволила установить, что ее применение повышает суммарный коэффициент полезного действия котлов с ~ 74,6% в сравнительные сезоны до ~ 85,66% в экспериментальный сезон.
3. Снижение теплоемкости воды нагреваемой в котлах позволило получить экономию угля за экспериментальный отопительный сезон в размере ~ 1300 т.

Литература

1. Николаев Л.А., Тулупов В.А. Физическая химия. М. 1964, с. 441.
2. Физический энциклопедический словарь. - М.: Советская энциклопедия, 1984.
3. J.Tritt-Goc. Relaksacja w jadowym rezonansie magnetycznym. / Elektronowy rezonans paramagnetyczny. Podstawy spektroskopii impulsowej. Poznań, 1997, s. 139.
4. Эткин В.А. О специфике спин-спиновых взаимодействий. // Электронный журнал "Наука и техника", 2.02. 2002.
5. Эткин В.А. Об ориентационном взаимодействии спинирующих систем // Электронный журнал "Наука и техника", 19.06.2002.
6. Careri G. Ordine e Disordine Nella Materia. Laterza, 1982. – 232 p.

7. Утияма Р. К чему пришла физика. (От теории относительности к теории калибровочных полей). М., Знание, 1986, 224 с.
8. Марков М.А. - УФН, вып. 4, 719, (1973).
9. Hudson R.P., - Progr. Cryog., **3**, 99 (1961).
10. Roberts L.D., Dabbs J.W.T., Ann. Rev. Nucl. Sci. **11**, 175 (1961).
11. Danials J.M., Goldemberg J., Rept. Progr. Phys., **25**, 1 (1962).
12. Carson D.J. Dynamic Nuclear Orientation. New York-London-Sydney, John Wiley&Sans, 1963, 485 p.
13. Краснобрыжев В.Г. Спинорные поля и их генерация. <http://entron.narod.ru/>