

УДК 621.165

<sup>1</sup>И.И. Зима, д.т.н.  
<sup>2</sup>Н.В. Сурду, к.т.н.  
<sup>2</sup>А.В. Нечаев**МАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ВОДЕ И ИХ ВЛИЯНИЕ  
НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**<sup>1</sup>Харьковский национальный университет радиоэлектроники, [zima@kture.kharkov.ua](mailto:zima@kture.kharkov.ua)  
<sup>2</sup>Институт проблем машиностроения НАН Украины, [surdu@ipmach.kharkov.ua](mailto:surdu@ipmach.kharkov.ua)

*Рассмотрены роторные магнитные эффекты, имеющие место в воде при наличии внешнего магнитного поля. Как правило, внешним является магнитное поле Земли и поля техногенной природы. Обсуждается возможность их влияния на теплофизические свойства воды и рабочие процессы тепловых установок. Рассматривается способность воды при определённых условиях излучать электромагнитную энергию.*

**Ключевые слова:** вода, водяной пар, роторные магнитные эффекты, прецессия, спинорное поле, роторный магнетизм, электромагнитные излучения.

**Введение**

Анализ влияния физических полей на теплофизические свойства рабочего тела, и термодинамические процессы является актуальной научно-технической задачей в плане поиска новых методов повышения эффективности теплоэнергетических установок.

В работе [1] рассмотрена обобщенная термодинамическая задача о влиянии электрического и магнитного полей на теплофизические свойства рабочего тела и термический КПД цикла паротурбинных установок. При этом в качестве рабочего тела рассматривалась вода и водяной пар. Термодинамический анализ проводился на основе использования известных уравнений [2], связывающих термодинамические параметры рабочего тела с физическими, в частности, с магнитной восприимчивостью и диэлектрической проницаемостью. Проведенный анализ показал перспективность данного направления и необходимость дальнейшей его разработки.

Настоящая работа посвящена анализу магнитных эффектов, возникающих в рабочем теле паротурбинной установки и перспективам их технического применения. В качестве рабочего тела также как и в [1] рассматривается вода и водяной пар.

**Особенности магнетизма воды**

Традиционно воду относят к диамагнетикам. Диамагнитный эффект обладает свойством универсальности, в силу чего все вещества обладают диамагнетизмом. Однако наряду с диамагнетизмом у многих веществ наблюдается и парамагнитный эффект. В таких случаях результирующим магнитным эффектом будет суммарный. В случае когда парамагнитный эффект является преобладающим, вещества относят к парамагнетикам, в противоположном случае - к диамагнетикам. Важно отметить, что в определенных ситуациях, в веществах с парамагнитными и диамагнитными свойствами могут наблюдаться физические явления, обусловленные замаскированным, то есть менее выраженным, магнитным свойством.

Природная вода относится именно к такому типу веществ: она обладает электронным диамагнетизмом и ядерным (протонным) парамагнетизмом в силу особенностей ее молекулярного строения. Ядерный парамагнетизм маскируется электронным диамагнетизмом и меньше его примерно на три-четыре порядка.

Известно, что магнитное поле в магнетике описывается выражением:

$$B = \mu\mu_0 H = \mu_0(1 + \chi)H, \quad (1)$$

где  $B$  – магнитная индукция;  $H$  – напряженность магнитного поля;  $\mu_0$  магнитная постоянная,  $\mu = 1 + \chi$  магнитная проницаемость среды;  $\chi$  - магнитная восприимчивость.

В случае воды, с учетом ее диамагнитных и парамагнитных свойств, выражение (1) можно записать в виде

$$B = \mu_0 \left[ 1 - (\chi_{H_2O}^D - \chi_{H_2O}^P) \right] H, \quad (2)$$

где  $\chi_{H_2O}^{\text{Д}}$  – диамагнитная восприимчивость воды;  $\chi_{H_2O}^{\text{П}}$  – парамагнитная восприимчивость воды.

Парамагнитная компонента магнитной восприимчивости воды, также как и диамагнитная, зависит от температуры и внешнего магнитного поля

$$\chi_{H_2O}^{\text{П}} = f \{T, H\}. \quad (3)$$

Парамагнитные центры молекулы воды – протоны являются элементами межмолекулярных (водородных) связей. Вследствие этого водородная связь чувствительна к температуре и величине внешнего магнитного поля.

Традиционно считается, что диамагнетизм воды не зависит от температуры и напряженности внешнего магнитного поля. Фактически же изменение диамагнитной восприимчивости воды в зависимости от температуры имеет место. Эта температурная зависимость исследована очень тщательно. Молекулярная диамагнитная восприимчивость воды при 20<sup>0</sup>С отрицательна и равна  $\chi_M = -0,7218 \cdot 10^{-6} \pm 0,0007$ . Температурный коэффициент диамагнитной восприимчивости монотонно падает от  $2,9 \cdot 10^{-4}$  при 5<sup>0</sup>С до  $0,62 \cdot 10^{-4}$  при 70<sup>0</sup>С. Полагают, что слабая температурная зависимость диамагнитной восприимчивости обусловлена деполимеризацией молекул воды с температурой, которая вызывает небольшие изменения в структуре электронной оболочки молекулы. Однако, по мнению авторов, эти изменения связаны с замаскированным парамагнетизмом воды и роторной природой ковалентных и водородных связей.

Особенностью парамагнитных свойств воды является их роторная природа. В работе [3] предложен новый термин – «роторный магнетизм» для обозначения магнитных явлений, связанных с собственным вращением магнитных моментов микрочастиц. Целесообразность введения этого термина обусловлена наблюдающейся путаницей в физико-химической литературе нетождественных понятий «спин» и «магнитный момент» микрообъекта, который называют спиновым, а также свойствами физических полей, формируемых этими моментами. Спиновый момент импульса образует спиновое (торсионное) поле, а прецессирующий магнитный момент - роторное. Магнитный момент микрообъекта (протона, электрона) во внешнем магнитном поле характеризуется вектором, имеющим две составляющие:

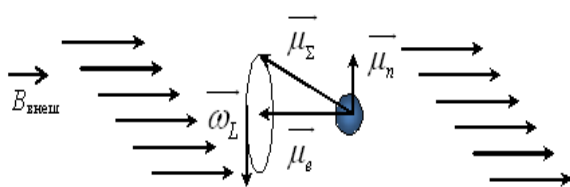


Рис. 1. Схема ориентации и составляющих вектора магнитного момента микрообъекта.

продольную  $\vec{\mu}_e$ , направленную вдоль вектора внешнего поля и поперечную  $\vec{\mu}_n$ , нормальную по отношению к направлению внешнего поля (рис. 1).

Продольная составляющая ориентируется подобно стрелке компаса и характеризуется знаком ( $\pm$ ) и амплитудой (A). С нею связаны представления традиционного магнетизма. Поперечная составляющая связана с прецессией магнитного момента во внешнем магнитном поле, присущей магнитным свойствам микрообъектов по их внутренней природе. Закономерности существования поперечной составляющей и представляют предмет роторного магнетизма. Поперечная составляющая характеризуется знаком ( $\pm$ ), амплитудой (A), частотой ( $\omega_L$  - частота Лармора) и фазой ( $\varphi$ ). С ней связана способность частицы излучать и поглощать магнитную и электромагнитную энергию.

$$\begin{cases} \vec{\mu}_e : A; \pm. \\ \vec{\mu}_n : A; \pm; \omega_L; \varphi. \end{cases} \quad (4)$$

Поперечная составляющая магнитного момента отличается от продольной, как радиосигнал от видеосигнала, а роторный магнетизм от традиционного как радиотехника от видеотехники [4]. Частота поперечной составляющей это частота прецессии, её величина зависит от величины внешнего магнитного поля. В частности, находясь на поверхности Земли, вода находится в земном геомагнитном поле. Благодаря этому она всегда формирует как минимум геомагнитное роторное поле прецессирующих магнитных моментов протонов.

Ядерный парамагнетизм воды имеет квантовые свойства. При отсутствии внешнего магнитного поля водная среда, как магнетик, находится в состоянии термодинамического равновесия и ее суммарное магнитное поле равно нулю. Во внешнем магнитном поле магнитные моменты микрочастиц ориентируются по полю и против поля (эффект Зеемана). Вследствие чего частицы находятся, в простейшем случае, соответственно на нижнем и верхнем зеемановских уровнях энергии и образуют два суммарных уровневых магнитных момента. Соответственно возбужденные частицы формируют верхний энергетический уровень, а невозбужденные – нижний. Квантовые магнитные переходы с верхнего уровня на нижний сопровождаются излучением роторных электромагнитных волн, а с нижнего на верхний – поглощением. Процесс излучения и поглощения имеет резонансный характер.

С учетом вышесказанного, выражение (2) можно привести к виду

$$B = \mu_0 \left[ 1 - (\chi_{H_2O}^{\Pi+} + \chi_{H_2O}^{\Pi-} - \chi_{H_2O}^{\Pi-}) \right] H, \quad (5)$$

где  $\chi_{H_2O}^{\Pi+}$  – парамагнитная компонента восприимчивости воды, обусловленная частицами, ориентированными вдоль поля, а  $\chi_{H_2O}^{\Pi-}$  парамагнитная компонента восприимчивости воды, обусловленная частицами, ориентированными против поля. Соотношение величин компонент  $\chi_{H_2O}^{\Pi+}$  и  $\chi_{H_2O}^{\Pi-}$  характеризуется физико-химическими и теплофизическими условиями, в которых находится вода.

Говоря о роторной природе парамагнетизма воды, следует отметить его резонансные свойства. Способностью магнитного резонанса чистая вода обладает благодаря тому, что в ее молекулах некомпенсированы магнитные моменты протонов водорода. Молекулы обладают суммарным магнитным моментом, который в геомагнитном поле прецессирует с гиромангнитной частотой протона. Примесная вода может обладать также способностью магнитного резонанса электронов.

#### Современные модели молекул и ассоциатов воды

Ранее нами была предложена новая модель молекулы воды, учитывающая роторные свойства частиц, входящих в ее состав [5]. Схематическое изображение модели молекулы приведено на рис.2. Соответственно, фрагмент молекулярного ассоциата на основе предложенной модели молекулы приведен на рис.3.

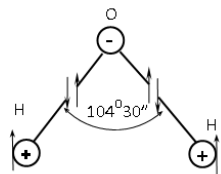


Рис.2. Модель молекулы воды.

Молекула воды образуется двумя ковалентными связями  $\uparrow\downarrow$  валентных электронов кислорода и водорода, имеющих некомпенсированные магнитные моменты, ориентированные антипараллельно (принцип Паули). При этом атом кислорода имеет два валентных электрона, магнитные моменты, которых ориентированы параллельно (принцип Хунда). Магнитные моменты остальных электронов и ядра атома кислорода скомпенсированы, поэтому на рисунках он показан символом  $\Theta$ . Атом водорода имеет некомпенсированный магнитный момент протона, ориентированный антипараллельно валентному электрону и обозначен символом  $\oplus\uparrow$ . Так как магнитные моменты электронов ковалентных связей

взаимно компенсируются, то магнитные резонансные свойства молекулы воды в целом определяются главным образом ротацией магнитных моментов протонов. Заметим, что в данной модели молекулы воды предполагается, что кулоновское и роторное взаимодействия имеют разное дальнее действие. Сила электростатического взаимодействия обратно пропорциональна квадрату расстояния, а магнитного – кубу. Поэтому, на больших межмолекулярных и межатомных расстояниях работает электростатическое взаимодействие, а

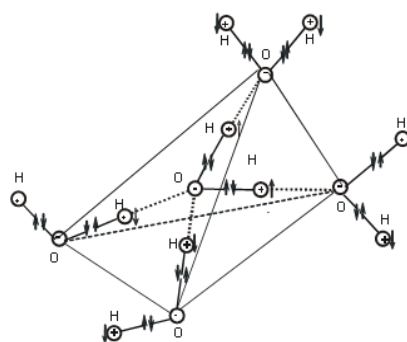


Рис.3. Фрагмент молекулярного ассоциата воды.

на малых - магнитное роторное. Этим обусловлена возможность преодоления отталкивания электронов в паре и высокая прочность ковалентной связи (9,16 эВ).

Слабым звеном молекулы воды (4,93 эВ) является связь, удерживающая в ее составе протон. Как видно из модели (рис.2), это звено создает предпосылку для существования магнитной роторной преддиссоциации под действием определенных электромагнитных полей.

#### **Роторная преддиссоциация воды**

Диссоциация - это разрыв химической связи между атомами молекулы. Соответственно преддиссоциация – явление ослабления химических связей между молекулами под воздействием внешних факторов, в данном случае электромагнитного поля. Условием магнитной роторной преддиссоциации воды является совпадение частоты и направления вращения магнитного вектора электромагнитной волны и магнитного момента протона. В этом случае увеличивается угол прецессии магнитного момента протона, благодаря чему у него увеличивается поперечная составляющая и уменьшается продольная, удерживающая протон в составе молекулы. Прочность магнитной связи протона уменьшается и создается предрасположенность молекулы к диссоциации при неизменной температуре и давлении.

В зависимости от агрегатного состояния воды разрыв ковалентных связей молекул может происходить по различным механизмам. Так, например, в сухом паре разрыв ковалентной связи происходит по гомолитическому типу, то есть с разрывом электронной пары и образованием двух радикалов Н и ОН. В жидкой фазе и соответственно в каплях влажного пара разрыв ковалентной связи происходит по гетеролитическому типу, то есть без разрыва электронной пары и с образованием двух ионов  $H^+$  и ОН. Объясняется это тем, что гетеролитический распад в сухом паре требует затраты большей энергии на преодоление электростатического притяжения ионов, в то время как в каплях влажного пара диэлектрическая проницаемость воды ее понижает. Благодаря этому энергия гетеролитического разрыва ковалентной связи для молекул воды становится ниже энергии гомолитического разрыва. Кроме того, гетеролитическому распаду способствует электрическая поляризация диссоциирующей связи под действием внешнего электрического поля.

Кроме внутримолекулярного роторное взаимодействие протонов оказывает влияние и на межмолекулярные водородные связи, являющиеся определяющими в проявлении аномальных теплофизических свойств воды [6].

#### **Роторные электромагнитные излучения воды**

Частицы воды, имеющие нескомпенсированный магнитный момент, при движении с ускорением и в условиях изменяющегося магнитного поля, способны излучать роторные волны и наводить переменные электромагнитные поля в окружающем пространстве. Механизм излучения представляет собой описанный выше квантовый переход между зеемановскими уровнями.

Гетеролитическая диссоциация молекул воды приводит к освобождению протонов  $H^+$ , их вращению в геомагнитном поле и квантовым переходам между геомагнитными уровнями. Квантовые переходы сопровождаются роторными излучениями в диапазоне гиромагнитных частот протонов. Молекулы ионов гидроксония  $OH^+$  имеют нескомпенсированный магнитный момент протона и излучают на гиромагнитной частоте протонов. Таким образом, излучения, сопровождающие гетеролитическую диссоциацию, имеют только одну спектральную линию – протонную.

Гомолитическая диссоциация молекул воды приводит к образованию радикалов Н и ОН, являющихся источниками роторных излучений на гиромагнитных частотах, как протонов, так и электронов. Излучения, сопровождающие гомолитическую диссоциацию, имеют две спектральные линии - протонную и электронную.

Возбуждение результирующего электромагнитного поля связано с прецессией суммарного магнитного момента ансамбля частиц рабочего тела. Экспериментальным обнаружением явления роторного излучения рабочим телом паротурбинной установки можно считать приведенные в работе [7] результаты измерения электромагнитного излучения в натуральных экспериментах на турбине ВК-50. По нашему мнению в выхлопном патрубке турбоустановки были зарегистрированы электромагнитные поля диапазона гиромагнитных частот электронов.

Для турбины ВК-50 суммарная мощность такого электромагнитного излучения может достигать нескольких десятков киловатт. Спектральная зависимость плотности мощности излучения приведена на рис.4.

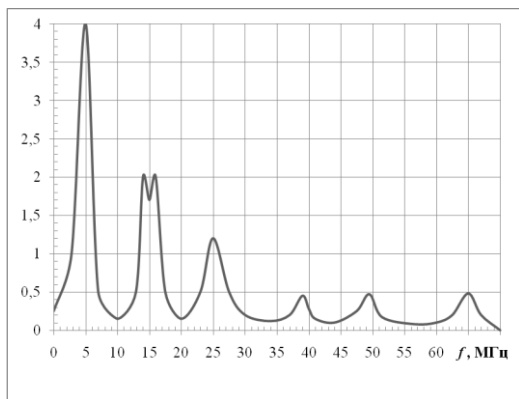


Рис.4. Спектральная зависимость плотности мощности излучения рабочего тела в выходном патрубке турбины ВК-50.

В более поздних работах, в частности [8], нами была проведена регистрация роторного магнитного излучения протонов рабочего тела теплоэнергетических установок. В частности для водяной паротурбинной установки, результаты экспериментальных измерений спектральной плотности мощности роторных излучений в диапазоне гиромантных частот протонов приведены на рис.5. Экспериментально установлено, что потоки больших энергий, при определенных условиях, обладают суммарной мощностью роторных излучений, достаточной для их обнаружения на фоне тепловых шумов. Некогерентное суммирование большого количества квантов малой энергии позволяет получать приемлемые уровни

спектральной плотности мощности излучений потока. Показано, что необходимыми энергиями могут обладать естественные и искусственные потоки пара, жидкости, газа, плазмы, пучки частиц, и т.д. Источниками роторных излучений могут быть паровые и газовые турбины, мощные электронные вакуумные и плазменные приборы, системы отопления и охлаждения, мощные электроустановки, ядерные и нейтронные взрывы и т.п.

Интерес к роторным излучениям водных систем обусловлен рядом примечательных свойств этих излучений. В первую очередь это высокая проникающая способность. Роторная спектроскопия, в отличие от обычных видов радиоспектроскопии, может позволить получать дистанционно информацию о процессах внутри сложного теплоэнергетического оборудования. Так, например, исследования роторного излучения протонов паротурбинной установки показали, что его параметры зависят от режима работы турбоагрегата. Приведенные на рис.5 кривые соответствуют различным мощностям нагрузки турбины: кривая 1 – 10 МВт, кривая 2 – 40 МВт. В данном случае излучения роторного магнитного поля проникали через стальные стенки турбоустановки, которые имели толщину 30 мм и более.

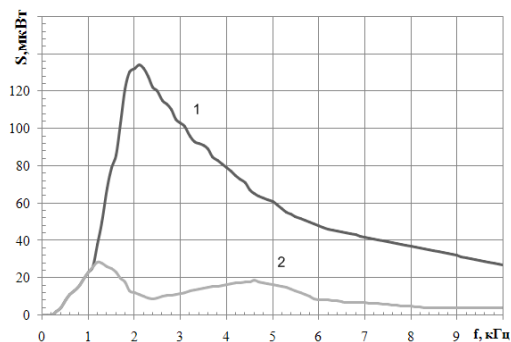


Рис. 5. Распределение мощности излучения рабочего тела в выходном патрубке при различных нагрузках турбины ВК-50 при 10 МВт; 2 – при 40 МВт.

Рабочее тело подобных установок является мощным источником шумовых сигналов, представляющих интерес с точки зрения дистанционного контроля состояния агрегата и состояния рабочего тела. Можно предположить, что эти излучения оказывают угнетающее или возбуждающее влияние на живые организмы. Поэтому они могут быть также использованы для экологического мониторинга работы станции.

Рассмотренные магнитные свойства воды демонстрируют с одной стороны возможность влиять на теплофизические и физико-химические свойства воды с помощью магнитных и электромагнитных полей, а с другой стороны способность воды генерировать электромагнитные излучения.

Перейдем к обсуждению взаимосвязи роторных и теплофизических свойств воды, в первую очередь теплоемкости. В соответствии с определением, теплоемкость представляет собой отношение приращение полученной телом теплоты  $dQ$  к соответствующему приращению температуры

$$c = \frac{dQ}{dT}. \quad (6)$$

В свою очередь приращение теплоты представляет собой сумму приращений внутренней энергии  $dU$  и работы  $dL$ , производимой системой

$$dQ = dU + dL. \quad (7)$$

Внутренняя энергия представляет собой суммарную энергию колебательного, вращательного, поступательного движения микрочастиц вещества, а также потенциальную энергию их взаимодействия. Для воды воздействие роторным магнитным излучением на внутри и межмолекулярные связи, при условии соблюдения резонансных условий, может приводить к изменению их энергии, т.е. фактически влиять на величину внутренней энергии - слагаемого  $dU$  уравнения (7). При этом возможно ожидать изменения теплоёмкости воды, а также как было показано выше, могут изменяться параметры диссоциации и её структура.

Экспериментальная проверка показала, что изменения изобарной теплоёмкости, рН, электропроводности, после обработки воды резонансным излучением, имеют место [9]. Так для водопроводной воды, изменение изобарной теплоёмкости в диапазоне 25 – 60<sup>0</sup>С составило около 10% от теплоёмкости необработанной воды.

### Выводы

Несмотря на малую величину парамагнетизма, роторные магнитные эффекты могут оказывать значимую роль в комплексе электрофизических и теплофизических явлений, протекающих в теплоэнергетических установках. Поэтому воздействие на воду как рабочее тело магнитными роторными полями может и должно изменять ее теплофизические и физико-химические свойства. И наоборот, вода в неравновесных термодинамических условиях способна излучать электромагнитную энергию, которую можно использовать для решения задач неразрушающего контроля и диагностики теплоэнергетических процессов и аппаратов, а также дистанционного измерения влажности пара, скорости течения, расхода, кислотно-щелочных свойств рабочего тела.

### Список литературных источников

1. Тарелин А.А., Антипцев Ю.П., Аннопольская И.Е. Термодинамика рабочей среды и КПД цикла паротурбинных установок при воздействии полей различной физической природы // Проблемы машиностроения. – 2003. – Т. 6, №3.
2. Сычев В.В. Сложные термодинамические системы. – М.: Наука, 1980. – 280 с.
3. Зима И.И., Богданов Г.Ф. Основы роторного геомагнетизма. Сборник научных трудов. Вып. 3(25).
4. Зима И.И. Роторный геомагнетизм. Новый взгляд на извечные проблемы. Харьков: ООО «Оберіг», 2005.
5. Васильев Н.Д., Зима И.И. Магнитная роторная преддиссоциация воды. Проблемы бионики. № 59, 2003
6. Зацепина Г.Н. Физические свойства и структура воды. М.: Изд-во МГУ, 1987. –171с.
7. Тарелин А.А. Диссертация на соискание степени доктора техн. наук. Харьков: ИПМаш НАН Украины, 1994. – 423 с.
8. Зима И.И., Нечаев А.В., Богданов Г. Ф. Роторная спектроскопия потоков больших энергий // Вестник Харьковского государственного политехнического университета, серия НРСТ. – 1999. - №75.
9. Зима И.И., Жирнов В.В., Сурду Н.В., Нечаев А.В. Теплофизические аспекты резонансной магнитоакустической обработки воды. - Экологическая и техногенная безопасность. Охрана водного и воздушного бассейнов. Утилизация отходов /Сб. научн. трудов XVIII междунар. научно-технич. конф. // Под общей ред. к.т.н. В.Ф. Костенко, А.И. Абрамовича: - Х., УкрВОДГЕО, 2010.- С.157-163.