

К.Г.Михайлов (лицей № 265), В.В.Семенов, д.ф.м.н., проф.

СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СИГНАЛА ПОГЛОЩЕНИЯ В АМПЛИТУДНО-МЕТОЧНОМ ЯМР СПЕКТРОМЕТРЕ С ПРОТОЧНЫМ ОБРАЗЦОМ

Ядерный магнитный резонанс в текущей жидкости занимает особое место в современной радиоспектроскопии главным образом как универсальный метод бесконтактного контроля проточных протоносодержащих сред, используемый вот уже более трех десятилетий в разнообразных конструкциях целой гаммы ЯМР расходомеров и магнитометров различного типа [1]. Структурными элементами подобных устройств являются: поляризатор, предназначенный для намагничивания текущего образца; анализатор, осуществляющий считывание полезного сигнала и датчик нутации (радиочастотная катушка), размещенный на соединительном патрубке между поляризатором и анализатором. Датчик нутации подключен к управляющему элементу, который осуществляет периодическое включение радиочастотной катушки к выходу внешнего высокочастотного генератора. Функциональная роль датчика нутации состоит в том, чтобы под действием переменного радиочастотного поля изменить ориентацию вектора намагниченности ядерных моментов проточной жидкости относительно направления постоянного магнитного поля. Таким образом, происходит магнитная отметка протонов рабочего вещества, которая фиксируется через интервал времени τ в анализирующем устройстве. С помощью управляющего элемента осуществляется периодическое включение и выключение катушки нутации, что позволяет сформировать прямоугольный импульс длительностью τ , фронт которого совпадает с моментом включения катушки, а спад – с моментом прихода магнитной метки в анализирующее устройство. Зная параметры соединительного патрубка между поляризатором и анализатором и значение τ можно определить расход жидкости и скорость ее протекания.

В настоящей работе были проведены исследования связи среднего значения амплитуды детектируемого в анализаторе сигнала со средним значением длительности видеоимпульса τ , вырабатываемого управляющим элементом в схеме ЯМР спектрометра с проточным образцом. В качестве образца использовалась вода из сетевой магистрали. На рис. 1 представлена экспериментальная зависимость $A(\tau)$, которая отображает конкуренцию процессов намагничивания протонов текущей жидкости в поляризаторе и релаксации, приводящей к деполяризации частиц рабочего вещества при их транспортировке в зону анализирующего устройства. На этом же рисунке показаны относительные среднеквадратичные вариации (отклонения от среднего) значений A и τ в диапазоне изменения τ 50...1000 мсек.

Для указанных на рис. 1 трех областей функциональной зависимости $A(\tau)$ были определены коэффициенты корреляции $K_{A\tau}$ [2], которые оказались равны -0,27 в области I, -0,09 в области II и 0,31 в области III. Различие в знаках $K_{A\tau}$ в областях I и III однозначно объясняется различием характеров поведения сигнала ЯМР в указанных областях изменений расхода: в области I положительному приращению сигнала ЯМР соответствует отрицательное изменение времени τ , в то время как в области III соответствующие изменения A и τ имеют одинаковый знак при вариациях расхода текущей жидкости.

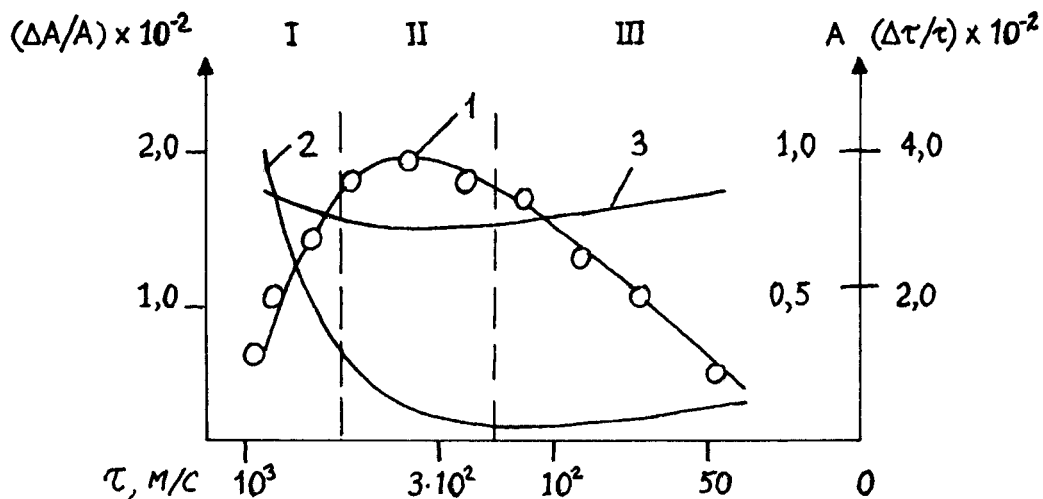


Рис. 1. Зависимость амплитуды сигнала магнитного резонанса A от среднего времени течения жидкости τ (кривая 1). Соответственно кривые 2 и 3 — относительные среднеквадратичные вариации амплитуды $\Delta A/A$ и времени $\Delta \tau / \tau$ в функции времени τ

Для зависимостей $\Delta A/A$ и $\Delta \tau / \tau$ в функции времени τ наблюдается снижение относительных вариаций амплитуды сигнала и длительности видеоимпульса в области средних расходов, соответствующей максимальному сигналу ЯМР (область I). С уменьшением расхода в эксперименте характер течения жидкости изменяется вследствие появления в трубопроводе воздушных включений, что обуславливает резкий рост $\Delta A/A$ в области I при относительно небольшом изменении $\Delta \tau / \tau$. Небольшое увеличение значений $\Delta A/A$ и $\Delta \tau / \tau$ с уменьшением τ в области III можно объяснить уменьшением амплитуды сигнала ЯМР при расходах жидкости, превышающих оптимальное значение, а также ростом так называемой модуляционной погрешности, связанной с увеличением неопределенности момента срабатывания детектора ЯМР, в котором используется модуляция резонансных условий с периодом, сопоставимым с временем τ [3].

ЛИТЕРАТУРА:

1. Жерновой А.И., Латышев А.Г. Ядерный магнитный резонанс в текущей жидкости. - М.: Атомиздат, 1964, 252 с.
2. Рытов С.М. Введение в статистическую физику. Ч.1. Случайные процессы. М.: Наука, 1976, 494с.
3. Жерновой А.И. Ядерно-магнитные расходомеры. Л. Машиностроение, 1986, 135 с.