

А.Ф. ДАНИЛЕНКО, канд. техн. наук, НТУ “ХПИ”,
А.Г. ДЬЯКОВ, канд. техн. наук, ХГАТП (г. Харьков)

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ ИЗМЕРИТЕЛЬНОГО КАНАЛА СПЕКТРОМЕТРА ЯМР

Розглянуто питання що до підвищення точності вимірювання сигналів у спектрометрі ЯМР при проведенні досліджень харчових продуктів. Проведено статистичний аналіз похибок вимірювального каналу спектрометра та досліджуемого сигналу. На основі отриманих даних визначені параметри інформаційного сигналу та сигналів каналу вимірювання спектрометра ЯМР.

Considered questions of increasing to accuracy of the measurement signal in spectrometer NMR. Analysis measuring channel mistake of the spectrometer and under investigation signal is organized. On base got given certain parameters of the information signal and signal of the channel of the measurement of the spectrometer NMR.

Постановка проблемы. Задачей исследования является определение статистических характеристик принимаемых сигналов, и характеристики измерительного канала спектрометра ЯМР.

Анализ литературы. В настоящее время одним из основных методов измерения подвижности воды в пищевых продуктах является метод импульсного ядерного магнитного резонанса (ЯМР), который реализуется на соответствующих измерительных установках [1, 2]. Специфика этого метода заключается в том, что исследование проводится в условиях помех, которые могут в значительной степени исказить результаты измерений [3, 4]. Поэтому изучение вопроса точности измерений, влияние помех на достоверность результата является **актуальной задачей**.

Целью статьи является исследование и получение оценки параметров помех и выявление степени их влияния на результаты измерения величины, характеризующей степень подвижности воды в исследуемом образце. При этом предполагается, что источниками помех является как сама измерительная установка, так и воздействие внешних сигналов.

Постановка задачи. Известно, что сигнал, снимаемый со спектрометра ЯМР можно представить в виде:

$$A_i = A_0 \cdot \exp((-2/T_2) \cdot \tau_i), \quad (1)$$

где A_i – величина измеряемого сигнала; A_0 – константа, определяемая объемом и свойствами исследуемого образца; T_2 – время спин-спиновой релаксации, которое определяет подвижность воды в исследуемом образце; τ_i – интервал между зондирующими импульсами.

Преобразуем выражение (1) к виду

$$\log A_i = \log A_0 + 0.434 \cdot (-2/T_2) \cdot \tau_i. \quad (2)$$

Проведя соответствующие замены, запишем (2) в виде

$$y_i = y_0 + K \cdot \tau_i, \quad (3)$$

где $y_i = \ln A_i$; $y_0 = \ln A_0$; $K = -\frac{2}{T_2}$.

Выражение (3) является типичной линейной моделью относительно τ_i , и если провести N измерений, то методом наименьших квадратов можно, как указано в [5], определить величину K из выражения

$$K = \frac{N \left(\sum_{i=1}^N \tau_i y_i \right) - \left(\sum_{i=1}^N \tau_i \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^N y_i \right)}{N \sum_{i=1}^N \tau_i^2 - \left(\sum_{i=1}^N \tau_i \right)^2} \cdot \tau_i. \quad (4)$$

Принимая во внимание, что погрешность задания τ_i практически отсутствует, следовательно, отклонение значения K от идеального значения обусловлено только наличием погрешности в измеренном значении y_i . Можно показать, что погрешность оценки коэффициента K , а следовательно, и значение T_2 определяется выражением

$$\sigma^2 = N \sigma_y^2 / A,$$

где σ_y^2 — дисперсия погрешности измерения переменной y [6].

На рис. 1 приведена осциллограмма сигнала, снятого на выходе измерительного канала при отсутствии образца в установке ЯМР.

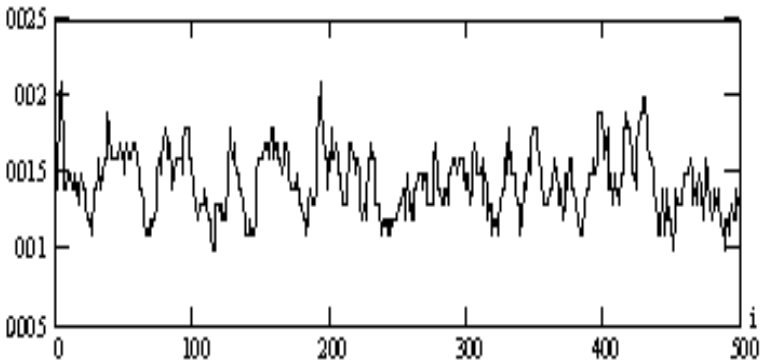


Рис. 1. Сигнал на выходе измерительного канала спектрометра

Для анализа составляющих σ_y^2 была принята методика проведения измерений, принятая в [7]. Исходя из нее при проведении экспериментов в каждой из N точек производится m измерений. Дисперсия каждого эксперимента определяется выражением:

$$\sigma_y^2 = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^m (y_i - \bar{y}_i)}{N(m-1)}.$$

Можно показать, что дисперсия измерения определяется двумя факторами: дисперсией сигнала помехи в канале измерения и дисперсией измеряемого сигнала, получаемого при наличии в установке ЯМР образца. Определим параметры помехи измерительного канала. На рис. 2 и рис. 3 приведены автокорреляционная функция и спектральный состав рассматриваемого сигнала.

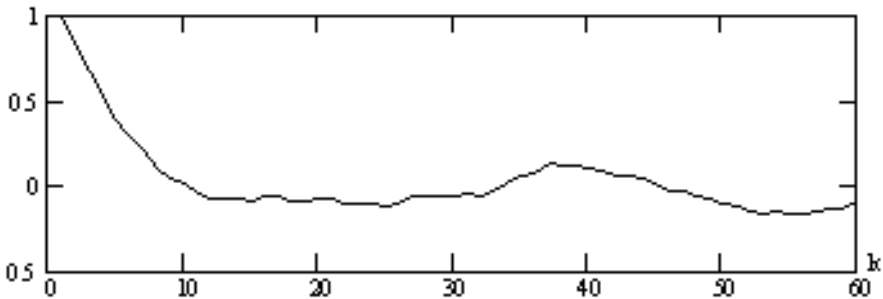


Рис. 2. Автокорреляционная функция сигнала измерительного канала

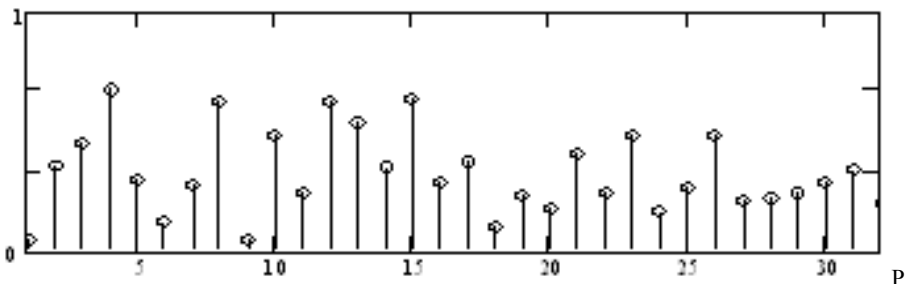


Рис. 3. Спектральный состав сигнала измерительного канала

Анализируя приведенные выше данные, можно сделать заключение, что сигнал измерительного канала можно рассматривать как "белый" шум. После статистической обработки были определены следующие параметры данного сигнала $D = 4,173 \times 10^{-6}$ В и $M = 0,014$ В.

Аналогичный анализ был произведен для полезного ответного сигнала от исследуемого образца пищевого продукта. Полученные статистические данные при различных значениях τ_i приведены в таблице.

Постоянную составляющую, присутствующую в сигнале можно компенсировать введением соответствующих коррекций в программной части блока обработки результатов измерений, что значительно повышает точность определения оцениваемых параметров.

Приведенные данные показали, что значение дисперсии измеряемого сигнала не является величиной постоянной и изменяется от величины τ_i и ее значение значительно превышает сигнал шума измерительного канала. Для оценки возможности применения соотношения (4) проверилась гипотеза о равенстве дисперсий в точках наблюдения. Целесообразно для этих целей использовать критерий Кохрена, который дает возможность оценить однородность дисперсий [8] данных. Гипотеза об однородности дисперсий была принята и поэтому использование соотношения (4) правомерно.

Таблица

Параметры измерительных сигналов при изменении τ_i

τ_i	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
$U, В$	3,17	2,64	2,198	1,1763	1,316
$D \times 10^{-3}$	2,35	1,19	0,991	0,581	0,61

Выводы. Определены стохастические параметры канала измерения спектрометра ЯМР. Установлено, что дисперсия измерений полезного сигнала зависит от величины интервала между зондирующими импульсами. Поэтому, для получения достоверной информации о подвижности воды в исследуемом образце необходимо вначале проверить гипотезу о равномерности дисперсии измерения. Если она не принимается, то определение коэффициента необходимо проводить по соотношениям, учитывающим дисперсию измерительного канала, что увеличивает время обработки данных.

Список литературы: 1. Дьяков А.Г., Даниленко А.Ф. Информационно-измерительная система установки ЯМР // Вестник НТУ "ХПИ". – Х.: НТУ "ХПИ", 2003. – Вып. 19. – С. 127 – 131. 2. Олсон Г., Пани Д. Цифровые системы автоматизации процесса управления. – СПб.: Невский диалект, 2002. – 254 с. 3. Власов В.В. Эффективность диагностических исследований. – М.: Медицина, 1988. – 256 с. 4. Апухтин В.М. Биотехнические системы. – Л.: Изд-во ЛГУ, 1981. – 220 с. 5. Тейлор Дж. Введение в теорию ошибок. – М.: Мир, 1985. – 272 с. 6. Смирнов Н.В., Дудин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики для технических приложений. – М.: Статистика, 1965. – 512 с. 7. Федоров В.В. Теория оптимального эксперимента (планирование регрессионных экспериментов). – М.: Наука, 1971. – 312 с. 8. Методы исследований и организация экспериментов / Под ред. проф. К.П. Власова – Х.: Издательство "Гуманитарный центр", 2002. – 256 с.

Поступила в редакцию 30.09.2005