

## РАЗДЕЛ IV. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ № МК-369.2011.8 «Разработка и исследование мелкодисперсных распылителей вязких жидкостей на основе новых физических принципов многократного поверхностного и высокочастотного ультразвукового воздействия».

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Новицкий, Б. Г. Применение акустических колебаний в химико-технологических процессах (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) [Текст] / Б. Г. Новицкий. – М.: Химия, 1983. – 192 с.
2. Физические основы ультразвуковой технологии. [Текст] / Под ред. Л.Д. Розенберга. М.: Наука, 1968. – 688 с.
3. Хмелев, В. Н. Ультразвуковое распыление жидкостей [Текст] / В. Н. Хмелёв, А. В. Шалунов, А. В. Шалунова. – Барнаул АлтГТУ, 2010. – 272 с.
4. Краткий справочник физико-химических величин. Изд. 8 / под ред. А.А. Равделя, А.М.Пономаревой. Л.: Химия, 1983 г. – 231 с
5. Хмелев, В. Н. Разработка ультразвуковых диспергаторов жидких сред для распылитель-

ной суши [Текст] / В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов, А. В. Шалунова // Современные проблемы технической химии. Материалы докладов Всероссийской научно-технической и методической конференции. Секции 5–7. – Казань: Изд-во Казан. гос. технол. ун-та, 2009. – С. 13–20.

6. Хмелев, В. Н. Ультразвуковой распылитель для химико-механического полирования [Текст] / В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов // Современные проблемы радиоэлектроники: сборник научных трудов / под ред. А. И. Громыко, А. В. Сарафанова. – М.: Радио и связь, 2006. – С. 181–184.

*Д.т.н., профессор, заместитель директора по научной работе Хмелёв В.Н., тел. (3854) 432581, e-mail: vnh@bti.secna.ru, К.т.н., доцент, доцент Шалунов А.В. тел. (3854) 432570, e-mail: shalunov@bti.secna.ru, инженер Шалунова А.В., тел. (3854)432570, e-mail: shav@bti.secna.ru, студент Голых Р.Н., тел. (3854)432570, e-mail: grn@bti.secna.ru, ведущий инженер Генне Д.В. тел. (3854)432570, e-mail: gdv@bti.secna.ru, – Бийский технологический институт (филиал) ФГБОУ ВПО АлтГТУ*

УДК 550.838

## ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К СОЗДАНИЮ ПРОТОННОГО МАГНИТОМЕТРА

А.Ю. Гвоздарев, Д. В. Кудин, Е. О. Учайкин

В статье рассмотрена конструкция протонного магнитометра, позволяющая за счет применения низкошумящих компонентов обеспечить качество измерения модуля вектора магнитного поля Земли достаточное для установки в магнитных обсерваториях международной сети INTERMAGNET. В результате исследования характеристик разработанного прибора произведена оценка точности производимых им измерений, которая составляет  $\pm 1$  нТл при шуме  $\pm 0,5$  нТл в диапазоне магнитного поля от 20 до 70 мкТл.

**Ключевые слова:** магнитные наблюдения, протонный магнитометр, усилитель сигнала прецессии протонов, прецизионный измеритель частоты

### Введение

В исследованиях одного из самых динамичных полей Земли, – геомагнитного, – очень важную роль играют непрерывные измерения на сети магнитных обсерваторий [1]. При этом на каждой станции обычно размещают пару приборов. Вариационный магнитометр феррозондового или магнитомеханического типа служит для регистрации вариаций компонент вектора магнитного поля X, Y, Z относительно некоего базисного уровня (обычно их амплитуда не превышает 1000 нТл). Для измерения модуля вектора магнитной индукции  $F = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2}$  использу-

ются протонные магнитометры, которые работают за счет эффекта свободной ядерной прецессии протонов (ядерной магнитной релаксации - ЯМР). При этом регистрируется магнитный экспоненциально затухающий гармонический сигнал от прецессирующих протонов в рабочем веществе после поляризации его внешним сильным магнитным полем. Частота этой гармоника есть величина, прямо пропорциональная измеряемому магнитному полю через коэффициент  $\gamma$ , равный 23.4874 нТл/Гц. За счет применения квантового эффекта протонные магнитометры обладают важными по сравнению с другими магнитометрами характеристиками - это от-

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012

сутствие температурного дрейфа измерений поля и отсутствии начального смещения показаний, что позволяет оценивать качество работы вариационного магнитометра, размещенного в обсерватории. Целью данной работы является разработка протонного магнитометра для недавно открытой станции «Байгазан»[2].

#### Проектирование и разработка

В качестве первичного магнитного преобразователя был выбран датчик устаревшего магнитометра ММП-203, который состоит из сосуда с рабочим веществом (керосин) и намотанной на него катушки, обеспечивающей магнитную поляризацию рабочего вещества, и последующее снятие сигнала частоты прецессии. Параметры катушки подобраны таким образом, чтобы создать максимально большое поляризующее поле и эффективно принять сигнал ядерной магнитной релаксации. Надо отметить, что амплитуда сигнала ЯМР, поступающего с датчика ММП-203, очень мала (около 500 нВ), что весьма затрудняет его использование в магнитометрии, так как собственный тепловой и электромагнитный шум всего на порядок меньше сигнала прецессии.

Для получения большего соотношения сигнал/шум при разработке устройства были применены следующие технические решения:

- датчик, представляющий собой индуктивность (катушку), настроен с использованием подстроечных конденсаторов в резонанс с измеряемой частотой сигнала прецессии;
- для согласования низкоомного сопротивления датчика и высокоомного входного сопротивления усилителя прецессии использован согласующий трансформатор;
- при разработке усилителя сигнала прецессии использованы низкошумящие операционные усилители (ОР484 с шумами  $3,9 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}$ );
- для снижения амплитуды шума полоса пропускания усилительного блока была ограничена рабочими частотами 800-3000 Гц при помощи активных фильтров Бесселя 8го порядка.

Разработанный с учетом перечисленных выше особенностей блок-усилитель прецессии имеет вместе с фильтром собственный шум на уровне 230 нВ, что вполне предсказуемо технической документацией на ОР484 (шум  $= (3,9 \text{ нВ}/\sqrt{\text{Гц}}) * \sqrt{(3000-800 \text{ Гц})} < 200 \text{ нВ}$ ) и на порядок ниже шума датчика ММП-203.

Для обеспечения непрерывных автономных измерений был разработан регистрирующий блок на основе микроконтроллера

PIC24. Основная задача этого блока заключалась в высокоточном измерении частоты прецессии с привязкой к всемирному координированному времени (UTC). Для измерения частоты в регистраторе использован термокомпенсированный кварцевый генератор, обеспечивающий нестабильность частоты  $2 * 10^{-4} \%$ . Для магнитного поля 60 мкТл ошибка при этом будет составлять 0.1 нТл, что на порядок меньше требуемой точности к абсолютным магнитометрам обсерваторий сети INTERMAGNET, которая составляет  $\pm 1 \text{ нТл}$ .

Время затухания сигнала прецессии позволяет выбрать окно измерения равным 0,5 с и производить измерения частоты с разрешением не менее 0,5 мГц. Сама процедура измерения сигнала прецессии выполняется в несколько этапов. Сначала запускается счетчик тактирующийся генератором 13 МГц. По истечении времени измерения 0,5 с. и приходу завершающего фронта сигнала значение счетчика запоминается и служит для расчета частоты прецессии. После этого хвост сигнала прецессии используется для оценки стандартного отклонения длительности периодов сигнала, что позволяет приблизительно оценить качество выполненных измерений.

Для удобства проведения экспериментов в измерительном блоке предусмотрена возможность сохранения результатов измерений на флеш-карту с использованием файловой системы FAT32.

Наряду с проведением полностью автономных измерений также реализован режим подключения устройства к сети CAN для синхронизации времени, сбора данных и наблюдения за состоянием прибора в режиме реального времени.

Сверка разработанного протонного магнитометра проводилась в абсолютном павильоне магнитной обсерватории «Патроны» (г. Иркутск). В качестве эталонного прибора использовался оверхаузеровский процессорный магнитометр POS-1 (абсолютная точность 0.2 нТл, отсчетная – 0.001 нТл). На первом этапе была проведена синхронная запись вариаций при помощи обоих приборов в течение 3-х суток с интервалом между измерениями 10 сек, при этом среднеквадратичное отклонение разности измерений двух приборов составила 1 нТл. При сглаживании данных сверяемого магнитометра с окном сглаживания 15 минут удавалось достичь снижения отклонения до величины 0.4 нТл. Таким образом, амплитуда шума магнитометра не превышает 1 нТл, что соответствует стандартам INTERMAGNET.

## РАЗДЕЛ IV. ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ

Для проведения быстрой сверки показаний исследуемого магнитометра с эталонным, датчик эталонного магнитометра был установлен на постамент №2 и с интервалом 10 секунд сделано 4 замера со средним значением  $60319,26 \pm 0,01$  нТл. Через минуту на этот постамент, был установлен протонный датчик ММП203, и в результате аналогичных измерений было получено значение среднего  $60319,1 \pm 0,8$  нТл. Таким образом, систематическая разность также не превышает 1 нТл, и погрешность разработанного прибора можно оценить как 1 нТл.

### Выводы

В результате выполненных работ, был создан протонный магнитометр с точностью  $\pm 1$  нТл и шумом  $\pm 0,5$  нТл, работающий в диапазоне магнитного поля от 20000 до 100000 нТл в градиенте не более 400 нТл/м.

УДК 621.385.833

## ДИАГНОСТИКА НЕПРОВОДЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ СКАНИРУЮЩИМ ТУННЕЛЬНЫМ МИКРОСКОПОМ

Е.Ю. Шелковников, А.В. Тюриков, П.В. Гуляев, Н.И. Осипов, С.И. Липанов

В работе рассмотрен метод исследования поверхности сканирующим туннельным микроскопом с использованием ее реплики. Приведено решение задачи координатной привязки прямого и обратного СТМ-изображений реплики. Предложена методика автоматического вычисления параметров взаимного сдвига кадров с учетом их искажений.

**Ключевые слова:** сканирующий туннельный микроскоп, реплика поверхности, зондирующее острие, нанорельеф, восстановление СТМ-изображений

### Введение

Одним из основных факторов, сдерживающих применение сканирующего туннельного микроскопа (СТМ) для изучения наночастиц, является ухудшение пространственного разрешения и искажения СТМ-изображений, возникающие при сканировании неровностей нанорельефа, сравнимых с размерами рабочей части зондирующего острия (ЗО) иглы (минимальный радиус закругления кончика ЗО составляет  $\sim 10$  нм). Это приводит к тому, что изображение поверхности нанобъектов представляет собой сложную функцию, содержащую информацию как о рельефе поверхности, так и о структуре рабочей части ЗО.

В основе большинства используемых методов реконструкции поверхности по ее СТМ-изображению лежит поиск координат точки туннельного контакта ЗО и исследуемой поверхности, при этом для реализации алгоритмов реконструкции поверхности необ-

Разработанный магнитометр будет установлен в абсолютном павильоне обсерватории «Байгазан» летом 2012 года.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечаев, С.А. Руководство для стационарных геомагнитных наблюдений. - Иркутск: Изд-во Института географии СО РАН, 2006. - 140 с.
2. Гвоздарев, А.Ю. Организация непрерывной регистрации магнитных вариаций на станции Байгазан (Телецкое озеро) А.Ю. Гвоздарев, А.И. Бакиянов, А.А. Бетёв, Е.О. Учайкин, П.Б. Бородин, С.Ю. Хомутов // Научный вестник Республики Алтай – Горно-Алтайск: РИО ГАГУ, 2010. - №4. – С.31-42;

*к.т.н., доцент Гвоздарев А.Ю., e-mail: gvozдарев@ngs.ru, аспирант Кудин Д.В., e-mail: dvkudin@gmail.com, аспирант Учайкин Е.О., e-mail: evgeniy\_uch@mail.ru, – Горно-Алтайский государственный университет.*

ходимо знать форму и размеры кончика ЗО. Однако прямое решение такой задачи требует сложных математических вычислений [1,2].

### Метод СТМ-исследования поверхности с использованием ее реплики

В данной работе рассмотрен метод исследования поверхности твердого тела туннельным микроскопом с использованием ее реплики [3,4], включающий сканирование поверхности ЗО при постоянном туннельном токе, реконструкцию реальной поверхности по ее СТМ-изображению. Метод заключается в том, что формируют проводящую реплику исследуемой поверхности, проводят сканирование этой реплики с одной стороны, а затем с обратной – этой же иглой, но зеркально развернутой в плоскости сканирования, прямое и инвертированное обратное СТМ-изображения совмещают и по соответствующим СТМ-профилограммам этих изображений производят восстановление реальной поверхности путем сравнения углов наклона

ПОЛЗУНОВСКИЙ ВЕСТНИК № 3/2, 2012