

ЗІОІ64, г. Харьков
пр. Ленина 47,
ФТИНТ АН УССР
лаб. 32

Научный руководитель: д. ф. м. н. Шнырков Владимир Иванович

Ответственный исполнитель: Безродный Виктор Васильевич

тел. 30-03-03

Техническое задание

(проект)

1. Наименование разработки - комплекс прецизионной физической аппаратуры на новых физических принципах для локальных исследований местности.

2. Цель и назначение разработки - создание высокочувствительных приборов, основанных на явлениях сверхпроводимости, для комплексного исследования аномалий и их окрестностей по следующим параметрам.

2.1 Вариации магнитного поля и его градиентов.

2.2 Вариации гравитационного поля и его вертикального градиента.

2.3 Всплески электромагнитного излучения (электрические разряды).

2.4 Анализ магнитной восприимчивости образца в месте аномалии.

2.5 Локация перемещающихся в окрестности аномалии магнитных и немагнитных тел (масс).

2.6 Сейсмический фон.

2.7 Биоманитные изменения в организме человека в месте аномалии.

3. Источники разработки.

3.1 Научно исследовательские работы по созданию квантовых датчиков магнитного и гравитационного поля гелиевого и азотного уровня охлаждения.

3.2 Разработки лаборатории, прошедшие испытания.

3.2.1 Магнито-энцефалограф гелиевого уровня охлаждения.

3.2.2 Магнито-кардиограф азотного уровня (77 К).

3.2.3 Опытная серия ВТСП сквид-магнитометров (12 комплектов) азотного уровня.

3.2.4 Криогенные (4,2 К) датчики гравиметров и градиентометров.

4. Технические требования.

4.1 Состав комплекса.

4.1.1 ВТСП сквид-магнитометр.

4.1.2 ВТСП сквид-градиентометр (на основе двух дифференциальных магнитометров).

- 4. I. 3 Макет гравиметра гелиевого уровня .
- 4. I. 4 Макет гравитационного градиентометра (4,2 К).
- 4. I. 5 Системы крио обеспечения.
- 4. I. 6 Регистрирующая аппаратура.
- 4. I. 7 Климатическая защита (палатка).
- 4. I. 8 Средство доставки.
- 4. I. 9 Экранирующая камера.
- 4. 2 Требования к конструктивному исполнению.
- 4. 2. I Комплекс должен быть выполнен в виде отдельных функционально законченных законченных блоков, расположенных на ограниченной площади, защищенной от климатических воздействий.
- 4. 2. 2 Управление аппаратурой комплекса дистанционное.
- 4. 2. 3 Масса отдельных узлов (приборов) не должна превышать 15 кг. (Масса гравиметрических криомодулей может достигать 50 кг. при условии ограниченной транспортировки двумя операторами.)
- 4. 2. 4 Регистрирующая аппаратура должна обеспечить одновременную обработку и запись информации со всех датчиков.
- 4. 2. 5 Время непрерывной работы аппаратуры без дозаправки хладагента не менее 7 суток.

5. Технические характеристики аппаратуры комплекса должны быть не хуже.

- 5. I Чувствительность ВТСП сквида по энергии не хуже -
(2 ÷ 4) 10^{-28} Дж / Гц
- 5. 2 Чувствительность ВТСП сквида по потоку -
(2 ÷ 4) 10^{-4} Φ_0 / Гц^{1/2}
- 5. 3 Чувствительность по магнитному полю -
(4 ÷ 8) 10^{-13} Т / Гц^{1/2}
- 5. 4 Чувствительность гравиметра - 10^{-11} г / Гц^{1/2}
- 5. 5 Чувствительность гравитационного градиентометра - I Э

Окончательные требования к комплексу и системам по отдельным видам измерений будут внесены при согласовании технического задания с заказчиком.

6. Стадии и этапы разработки.

- 6. I Состояние аппаратуры, входящей в комплекс, следующее
 - 6. I. I Сквид-магнетометры с азотным уровнем охлаждения

выпущены опытной партией (12 экземпляров) и находятся в эксплуатации у различных заказчиков. Дополнительный выпуск может быть реализован в течении 1992 г.

6.1.2 Датчики магнитометров разработаны и испытаны. Работы по созданию градиентометра могут быть выполнены в течении 1992 + 1993 гг.

6.1.3 Опытный образец криогенного (4,2 К) гравиметра находится в стадии исследований. Для завершения работ (1993) необходимы конструкторские доработки и испытания.

6.1.4 Датчики гравитационных градиентометров на стадии научно-исследовательских работ. Для создания градиентометра требуются научно-исследовательские и конструкторские работы. Завершение работ - 1994 г.

6.1.5 Начаты работы по возможности создания датчиков гравитационных приборов на основе высокотемпературных сверхпроводников (ВТСП).

6.1.6 Совместная работа аппаратуры, входящей в состав комплекса требует теоретических исследований.

6.1.7 Необходимы работы по унификации (взаимозаменяемости) регистрирующей аппаратуры.

7. Экономические показатели.

Разработанный ФТИНТ АН УССР магнитометр с ВТСП сквидом в настоящее время превосходит по чувствительности к вариациям магнитного поля лучшие зарубежные образцы. Стоимость комплекта магнитометра 45 тыс. руб. Стоимость трехкомпонентного (x, y, z) магнитометра около 120 тыс. руб. (разовый заказ). Этот показатель при серийном заказе значительно ниже.

Аналогов разрабатываемым криогенным гравиметру и градиентометру у нас в стране нет.

Стоимость криогенного гравиметра США (1990 г.) около 0,8 млн. долларов. Ориентировочная стоимость разрабатываемого ФТИНТ криогенного гравиметра (градиентометра) - 500 тыс. руб.

В 1989 г. на совещании в ГКНТ СССР к нам обратились с предложением в рамках программы "Интерференция-77" выпустить опытную серию ВТСП сквид-магнитометров с азотным уровнем охлаждения. В результате к настоящему времени изготовлено и передано различным заказчикам 11 комплектов приборов на основе ВЧ сквидов и 1 на основе ПТ сквида. Кроме того по конкретным техническим заданиям заказчиков изготовлены системы магнитного экранирования, специальные криогенные модули и серия датчиков ВТСП ВЧ сквидов. Следует отметить, что небольшой объем выпуска (5-6 штук/год), не удовлетворяет потребности даже внутреннего рынка и связан как с "кустарным" способом производства, так и с незавершенностью технических и конструкторских работ в этой области. Тем не менее, этот магнитометр с ВТСП сквидом даже в настоящее время превосходит по чувствительности к вариациям магнитного поля лучшие образцы, разработанные в Калифорнийском университете (г. Беркли, США) и в исследовательском центре фирмы IBM (г. Йорктаун-Хайтс, США) в 1991 г. По мнению ряда зарубежных и советских специалистов, высказанному на международной конференции SQUID'91 (18-21 июня 1991 г., г. Берлин, ФРГ), такие устройства вызовут несомненный коммерческий интерес для некоторых фирм, научных центров и учебных заведений.

3.1. ВТСП сквид-магнитометр

Исполнителями программы "Интерференция-77" ранее был накоплен богатый опыт по исследованию, разработке и созданию гелиевых ВЧ сквидов [5-7] с рекордной чувствительностью $10^{-30} - 10^{-31}$ Дж/Гц. Полученные значения и часть результатов были перенесены на создание ВТСП ВЧ сквидов с азотным уровнем охлаждения.

Общий вид конструкции одноконтантного датчика ВЧ сквида приведен на рис. 1. Дополнительными элементами интерферометра 1 являются ВТСП экран 2 и концентратор магнитного потока 3, увеличивающий

эффективную площадь приемного контура. Для повышения надежности, удобства эксплуатации и сохранения высокой чувствительности была разработана модульная конструкция ВТСП датчика ВЧ сквида (рис. 2), позволяющая на ее основе создавать многоканальные устройства.

Разработанный нами ВТСП сквид-магнитометр почти на два порядка превосходит по чувствительности феррозондовый магнитометр фирмы Applied Physics Systems, США (цена 4800 долларов США).

Основные характеристики ВТСП сквида в модульном исполнении:

- габариты - диаметр, не более 10 мм; длина, не более 35 мм;
- чувствительность по магнитному потоку - $2 \cdot 10^{-4} \Phi_0 / \text{Гц}^{1/2}$;
- период по магнитному полю в режиме с обратной связью - 1.0 нТ;
- устойчивость к термоциклам (от 77 до 300 К) > 100 раз.

Криогенный модуль, содержащий ВТСП сквид на жестком коаксиальном кабеле, помещается в стеклопластиковый криостат. При разработке криостата особое внимание уделялось его теплофизическим и шумовым свойствам, которые не должны ограничивать параметры ВТСП прибора. Наиболее существенной особенностью криостата является новая структура суперизоляции, которая позволила сократить длину горловины, уменьшить габариты всего криостата, снизить собственные шумы, упростить конструкцию, повысить надежность и уменьшить вес криостата. Кроме того криостат является универсальным - в качестве хладагента может быть использован как жидкий азот, так и жидкий гелий. Основные параметры криостата:

- объем 4.2 литра;
- диаметр горловины 50 мм;
- длина горловины 160 мм;
- количество слоев изоляции 36;
- высота 560 мм;
- диаметр 185 мм;
- масса 3.3 кг;
- время испарения LN_2 35 суток;
- время испарения LHe 8 суток.

Для серийного выпуска стеклопластиковых радиопрозрачных криостатов в составе комплектов сквид-магнитометров необходимо оборудовать специальный участок. Это позволит обеспечить требуемую технологическую цепочку на всем этапе сборки криостата: от подготовки исходных материалов, механической обработки заготовок, поэтапного контроля сборки до испытания готового изделия.

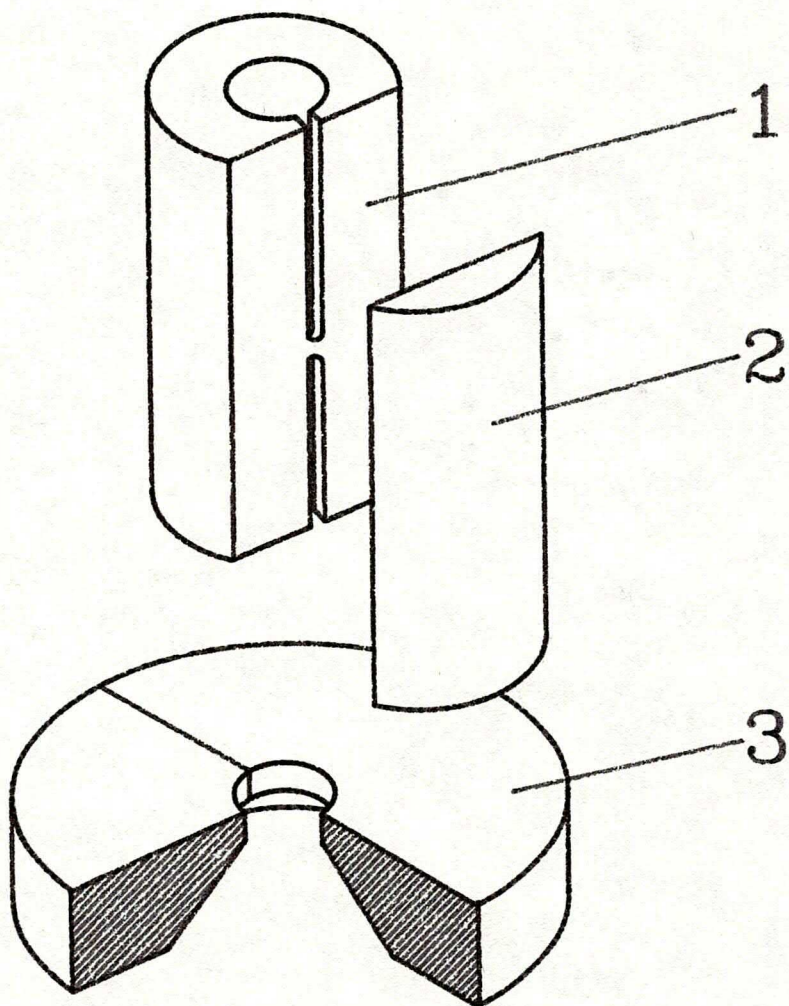


Рис.1. Конструкция датчика ВТСП ВЧ сквида: 1-интерферометр
2-сверхпроводящий экран; 3-концентратор магнитного потока.

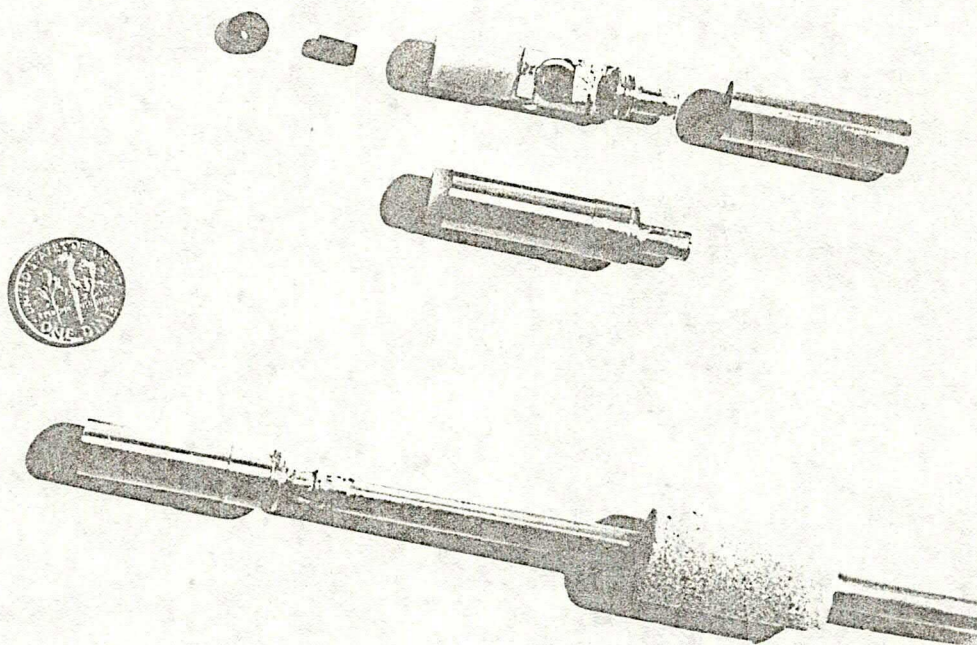


Рис. 2. Общий вид датчика ВТСИ В4 сквида в модульном исполнении (в сборе - в центре). Показаны основные элементы датчика (вверху) и способ подключения к жесткому коаксиальному криогенному модулю (внизу).

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Б.И.Веркин, И.М.Дмитренко, В.М.Дмитриев, А.Г.Козырь, Г.М.Цой, В.И.Шнырков.- Обнаружение макроскопической квантовой интерференции в соединении $YBaCuO$ при $T=60$ К.- ФНТ, 1987, т.13, № 6, с.651-653.
2. Б.И.Веркин, И.М.Дмитренко, В.М.Дмитриев, В.В.Карцовник, А.Г.Козырь, В.А.Павлюк, Г.М.Цой, В.И.Шнырков.- Квантовая интерференция в высокотемпературных сверхпроводниках.- ФНТ, 1988, т.14, № 1, с.34-38.
3. В.И.Шнырков, Г.М.Цой, А.Г.Козырь, В.Н.Глянцев.- ВЧ сквид с чувствительностью 10^{-28} Дж/Гц при азотной температуре.- ФНТ, 1988, т.14, № 7, с.770-773.
4. В.Н.Глянцев, А.Г.Козырь, В.Н.Полушкин, Г.М.Цой, В.И.Шнырков.- ВЧ сквиды из высокотемпературных сверхпроводников.- Сообщение ОИЯИ P13-89-8, Дубна, 1989, 13 с.
5. V.I.Shnyrkov, V.A.Khlus, and G.M.Tsoi.- On Quantum Interference in a Superconducting Ring Closed by a Weak Link.- J. Low Temp. Phys., 1980, v.39, Nos.5/6, p.477-496.
6. I.M.Dmitrenko, G.M.Tsoi, V.I.Shnyrkov, and V.V.Kartsovnik.- RF SQUID in the Nonhysteretic Regime with $k^2_Q > 1$.- J. Low Temp. Phys., 1982, v.49, Nos.5/6, p.413-429.
7. I.M.Dmitrenko, D.M.Konotop, G.M.Tsoi, and V.I.Shnyrkov.- Transfer Coefficient and Noise in rf SQUIDS.- Proc. ICEC-10.- Eds. H.Collan, P.Berglund and M.Krusius.- Butterworth, 1984.- p.746-749.

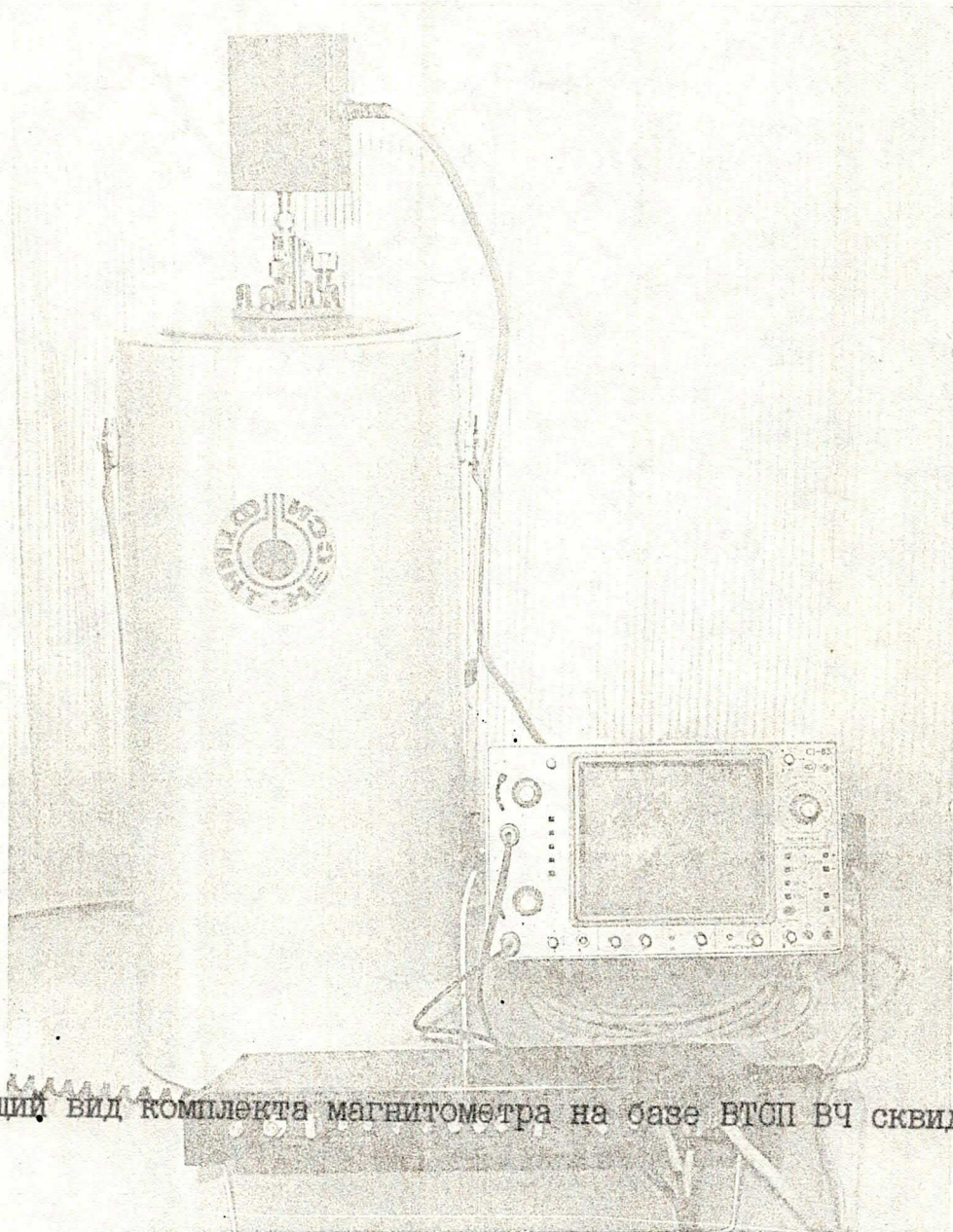
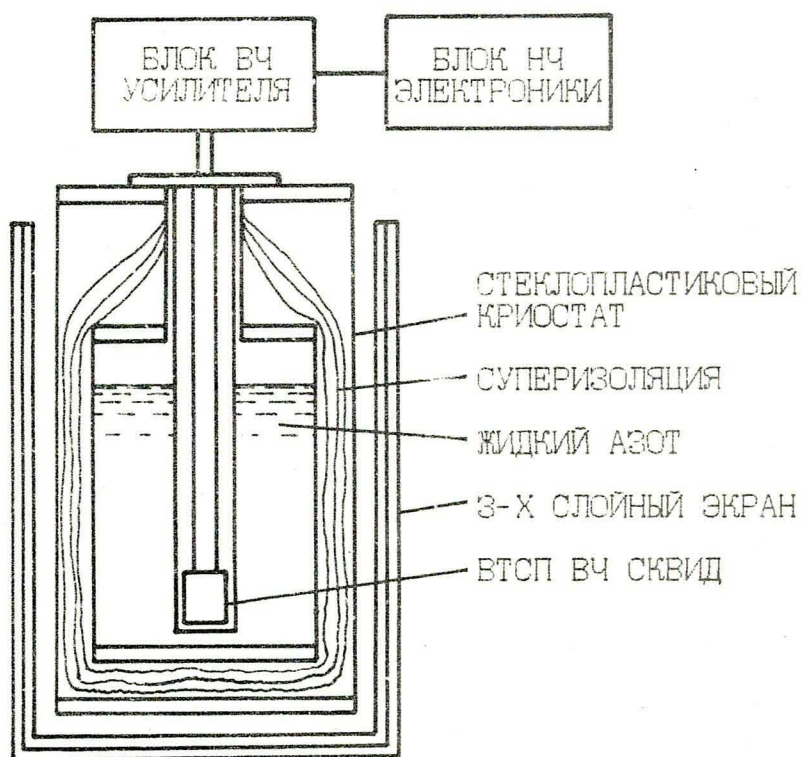


Рис.3. Общий вид комплекта магнитометра на базе ВТСП ВЧ сквида.

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ВЧ СКВИД МАГНИТОМЕТР



Технические характеристики

- Рабочая температура..... 77К (жидкий азот)
- Чувствительность ВТСП сквида по энергии
в области белого шума (30Гц - 2000Гц)..... $(2 \div 4) \cdot 10^{-28}$ Дж/Гц
- Чувствительность ВТСП сквида по магнит-
ному потоку в области белого шума..... $2 \cdot 10^{-4} \Phi_0 / \text{Гц}^{1/2}$
- Индуктивность контура
квантования сквида..... $(1 \div 3) \cdot 10^{-10}$ Гн
- Чувствительность
по магнитному полю..... $(4 \div 8) \cdot 10^{-13}$ Т/Гц^{1/2}
- Динамический диапазон..... 120 dB
- Объем стеклопластикового криостата..... 4.0 литра
- Диаметр и длина горловины..... 50 мм и 160 мм
- Толщина суперизоляции..... 20 мм
- Время полного испарения азота..... > 30 суток
- Время полного испарения гелия..... > 5 суток
- Уровень собственных магнитных шумов
криостата в диапазоне частот 0.1 - 150 Гц..... $< 10^{-14}$ Т/Гц^{1/2}

Физико-технический институт низких температур Академии наук УССР
НТПК "НЕССИ"

310164, г. Харьков, пр. Ленина, 47. Тел. 32-12-23, 22-72-20

ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫЙ ВЧ СКВИД МАГНИТОМЕТР

Высокотемпературный сквид с высокочастотным возбуждением создан на основе объемного элемента (интерферометра) из высокотемпературной сверхпроводящей керамики $Y-Ba-Cu-O$.

При температуре жидкого азота реализованы основные характеристики лучших коммерческих ВЧ сквидов, работающих при гелиевых температурах.

ВТСП-интерферометр герметизирован, что обеспечивает многократное (не менее 100 раз) термоциклирование и смену криогенных штоков в криостате.

Низкий уровень магнитных шумов стеклопластикового криостата позволяет реализовать предельную чувствительность сквид-магнитометра (градиентометра) в широком диапазоне частот. Вакуумные характеристики, используемых в конструкции материалов, обеспечивают возможность длительной эксплуатации криостата без обновления вакуума. Криостат может быть эффективно использован и для работы с жидким гелием.

ВТСП ВЧ сквид изготовлен в варианте магнитометра или градиентометра и представляет собой единый модуль, в состав которого входят:

- криогенный шток с ВТСП сквид-магнитометром (или с ВТСП сквид-градиентометром);
- электронные блоки усиления и преобразования сигнала;
- немагнитный стеклопластиковый криостат;
- съемные эффективные ферромагнитные экраны.

ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ

- Демонстрационная функция при обучении студентов и аспирантов.
- Измерение внешних локальных магнитных полей и их градиентов.
- Научные исследования в физике, биологии, медицине и геологии.

Физико-технический институт низких температур Академии наук УССР
НТПК "НЕССИ"
310164, г. Харьков, пр. Ленина, 47. Тел. 32-12-23, 22-72-20

Сверхпроводящие гравиметры и градиентометры

Гравитационный градиентометр (ГГ) представляет собой два гравиметра с разнесенными на заданный интервал длины гравиметрическими датчиками. С помощью ГГ проводятся высокоточные измерения разности гравитационных сил. Сверхпроводящие ГГ (СПГГ) позволяют измерять любой из диагональных тензоров гравитационного поля.

Сверхпроводящие гравиметры и градиентометры необходимы: для поиска полезных ископаемых, для использования в подводных лодках, для выполнения различных космических программ (напр., исследования геопотенциала) [1-7].

В последние годы в США, ФРГ, Австралии и др. странах ведутся интенсивные работы, направленные на создание СПГГ с чувствительностью 10^{-3} Э*Гц^{-1/2}, которые предназначены для создания систем инерциальной навигации [8] и выполнения различных космических программ [9] (например, исследование геопотенциала).

Получение столь высоких чувствительностей стало возможным благодаря использованию сквидов и сверхпроводящих подвесов (СПП). Имея большой научный опыт по созданию сверхпроводящих гравиметров и др. приборов на основе сквидов и СПП [10-15], ФТИНТ АН УССР в лице лаборатории N32 может разработать и создать сверхпроводящие гравиметр и градиентометр с предельно возможными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Grossy M.D. Semiannual report. - NASA-GR-174249, 1984, 34 p.
2. Moody M.V., et al., - University of Maryland / J. Appl. Phys. - 15 Dec. 1986, Vol. 60, N12 - pp. 4308-4315.
3. Paik H.J., et al., - 6th Annual Conf. on the NASA Geodynamics Program, 14-17 May 1984, University of Maryland.
4. Paik H.J. - Special issue on satellite geodynamics. - JEEE Trans. - July 1985. - Vol. GE-23, N4 - pp. 524-526.
5. Paik H.J. - Applied Superconducting Conf. Sept. 28 - Oct. 3, 1986. - P37. - University of Maryland.
6. Pisacane V.L. New Techniques: Reviews Geophysics and Space Physics. - 1983. Vol. 21, N3.
7. Russo A. et al. - Proc. of the 5th Inter. Congress of Intern. Association of the Institute of Navigation, Naval Environment. - Tokyo, 1-5 Oct, 1985.
8. Wells W.S. Spaceborne gravity gradiometers. - NASA - CP-2305, 1984.
9. Debra D.B. Gravity Probe B: New control system technology for space astrophysics conference: The Next 30 Years - A collection of technical papers. October 4-6, 1982, N.Y., p. 51.
10. Чаркин В.А. и др. Гравиметр АС. СССР N1083795,
11. Чаркин В.А. и др. Градиентометр АС. СССР N745268.
12. Чаркин В.А. и др. Сверхпроводящий гравиметр с высокой горизонтальной жесткостью. Направлена в печать. 1991г.
13. Шнырков В.И. и др. ВЧ-сквиды из высокотемпературных сверхпроводников. Препринт ОИЯИ, Дубна, P13-89-8, 1989.
14. Shnyrkov V.I. et al. On Quantum Interference in Superconducting Ring closed by a Weak Link. J. of Low Temp. Phys., Vol. 39, No 5/6, 1980.
15. Шнырков В.И. Сквиды и их применение. Зарубежная электроника 1983, N6, 16-32.

Наш адрес: 310164 Харьков-164 пр. Ленина 47, ФТИНТ АН УССР, лаб. 32 Шнырков В.И., Чаркин В.А., тел. 30-03-03.