

УДК 550.380.87

КВАРЦЕВЫЕ ПРИБОРЫ И МАГНИТОВАРИАЦИОННЫЕ СТАНЦИИ: ИСТОРИЯ РАЗРАБОТОК И ПРИМЕНЕНИЯ В НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ (К 95-ЛЕТИЮ В.Н. БОБРОВА – ЛЕГЕНДЫ КВАРЦЕВОГО МАГНИТНОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ ИЗМИРАН) (ОБЗОР)

© 2023 г. В. В. Любимов*

*Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн
им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН), Москва, Троицк, Россия*

**e-mail: lvy_store@mail.ru*

Поступила в редакцию 01.04.2022 г.

После доработки 31.08.2022 г.

Принята к публикации 22.09.2022 г.

ИЗМИРАН является в настоящее время единственной организацией в России, разрабатывающей и изготавливающей высокоточную аппаратуру на основе кварцевых магнитных датчиков для регистрации и исследования геомагнитных вариаций. Этой аппаратурой оснащены магнитные обсерватории и многие пункты наблюдений в России, а также зарубежные обсерватории. Показана история развития кварцевого магнитометрического приборостроения в институте со дня его основания до настоящих дней: от аналоговых до современных цифровых приборов.

DOI: 10.31857/S0016794022600557, EDN: ADRZVA

1. ВВЕДЕНИЕ

30 марта 2022 г. исполнилось 95 лет со дня рождения Виктора Николаевича Боброва – легенды научного приборостроения, ученого, изобретателя, создателя уникальных приборов на основе кварцевых магнитных датчиков (КМД), которые на много лет определили развитие ИЗМИРАН и советской геофизики в период 1960–2000 гг.

В.Н. Бобров окончил Казанский университет в 1950 г. и был направлен на работу в Иркутскую геофизическую обсерваторию, где занимался магнитными наблюдениями и приборами. В 1952 г. по рекомендации проф. Ю.Д. Калинина перевелся в НИИЗМ (<https://www.izmiran.ru/info/personalia/Bobrov85>), где прошел школу научных исследований по теории и по приборам. В 1959 г. Бобров В.Н. защитил кандидатскую диссертацию “Некоторые вопросы теории электромагнитной индукции и распределения электрической проводимости внутри Земли”.

С 1963 г. В.Н. Бобров возглавил лабораторию геомагнитных приборов и измерений ИЗМИРАН, в которой была подготовлена целая плеяда исследователей: Ю.А. Бурцев, А.И. Кудревский, Ю.П. Сизов, Т.Е. Вальчук, С.П. Гайдаш, А.Б. Попов, П.А. Майсурадзе, А.Н. Зайцев и многие другие. Школа В.Н. Боброва имела огромное влияние на развитие приборостроения не только в магнитометрии, но и в других направлениях при

создании конструкций новых физических датчиков. В.Н. Бобров за период своей активной деятельности стал автором 89 публикаций, в том числе и в журнале “Геомагнетизм и аэрономия”, и 32 изобретений [Любимов, 2020б].

ИЗМИРАН и в настоящее время является единственной организацией в России, разрабатывающей и изготавливающей высокоточную аппаратуру на основе кварцевых магнитных датчиков (КМД) для регистрации и исследования геомагнитных вариаций. Этой аппаратурой оснащены магнитные обсерватории (МО) и многие пункты наблюдений (ПН) в России, а также зарубежные обсерватории.

Настоящий обзор не ставит целью показ всей истории развития кварцевого магнитометрического приборостроения в ИЗМИРАН со дня его основания (в конце сороковых – начале пятидесятых годов прошлого столетия) до настоящих дней, т.е. от создания аналоговых до современных цифровых приборов. Подробно отражены только моменты, которые связаны с внедрением цифровых технологий в кварцевое магнитометрическое приборостроение за последние 40 лет, и, вместе с тем, показан процесс развития кварцевого приборостроения в ИЗМИРАН. Приводятся также варианты, описание и сравнительный анализ цифровых магнитовариационных станций (ЦМВС) нового поколения на основе КМД.

В обзоре приведено большое число основополагающих публикаций сотрудников института и их коллег, а также некоторые публикации последних лет по этому направлению деятельности [Любимов, 2020а, б; 2021а, б; Lyubimov, 2022a, b]. Библиография сформирована по годам выхода публикаций. Приводятся также сведения о ЦМВС, которые (на основе КМД системы В.Н. Боброва) созданы другими организациями в 70–90-х гг. прошлого столетия в содружестве и при участии сотрудников института [Бобров, 1965; Любимов, 2020б].

2. ЭКСКУРС В ИСТОРИЮ

Первые публикации сотрудников института по приборам на основе КМД относятся к 1949 г., когда Василием Федоровичем Шельтингом была разработана конструкция универсальной крутильной кварцевой рамки. Впоследствии (на основе этой разработки) им были созданы опытный образец Z-магнитометра для работы в полевых условиях [Шельтинг, 1953], а также полевая магнитная вариационная станция (МВС) [Шельтинг, 1954]. В 1954 г. к этим работам подключился молодой научный сотрудник В.Н. Бобров. Вместе с В.Ф. Шельтингом в 1956 г. они получили авторское свидетельство [Бобров и Шельтинг, 1956] на применение кварцевой крутильной рамки в магнитометрических приборах. Учитывая большую перспективность этих работ, в этот период времени в институте была создана творческая группа сотрудников по разработке кварцевых магнитометров. Судя по всем известным публикациям, процесс создания кварцевой магнитометрической аппаратуры в ИЗМИРАН можно условно разделить на несколько определенных этапов:

1. Разработка теории кварцевых магнитных вариационных приборов и создание первых образцов кварцевых датчиков различных конструкций (1948–1960 гг.).

2. Разработка теории кварцевых статических магнитометров и способов расширения их технических возможностей. Начало массового выпуска кварцевых датчиков для различного применения. Начало создания и внедрение кварцевых аналоговых станций различных конструкций (1961–1974 гг.).

3. Разработка датчиков с электрическим выходом и преобразования аналогового сигнала в цифровой код. Начало разработки первых образцов цифровых станций различных конструкций. Серийный выпуск некоторых образцов ЦМВС и их применение в МО, на ПН и в экспедиционных условиях (1975–1999 гг.).

4. Создание ЦМВС нового поколения на основе современных технологий и способов хранения, передачи и сбора получаемых данных. Примене-

ние ЦМВС в различных условиях и на различных МО и ПН. Создание сети цифровых МО и баз данных (2000 г.—по настоящее время).

До шестидесятих годов прошлого столетия на МО нашей страны для регистрации вариаций магнитного поля Земли (МПЗ) использовались вариационные приборы иностранного производства. Для этого применялись магнитные весы и Z-вариометры, представляющие собой постоянный магнит с зеркалом, подвешенный на одной или двух кварцевых нитях. Точность этих приборов была очень низка из-за влияния на них температуры, влажности и других факторов [Любимов, 2020б]. В период с 1954 по 1957 гг. С.М. Мансуров проводил практические исследования по созданию экспериментального образца Z-вариометра для МО, в результате которых им была опубликована работа по теории магнитных вариационных приборов [Мансуров, 1957]. Эту теорию затем в 1970 г. в своей диссертационной работе для кварцевых магнитометров успешно развил Ю.А. Бурцев [Любимов, 2020б].

В 1962 г. в журнале “Геомагнетизм и аэрономия” вышла статья В.Н. Боброва под названием “Серия кварцевых магнитных вариометров” [Бобров, 1962], открывшая новое направление в магнитном приборостроении. В результате, для регистрации вариаций составляющих вектора магнитной индукции (ВМИ) поля Земли в МО повсеместно стали использоваться кварцевые вариометры системы В.Н. Боброва [Бобров, 1961, 1962, 1963, 1965, 1971; Любимов, 2020б], вытеснившие из наблюдений устаревшие зарубежные аналоги.

Многие творческие идеи В.Н. Боброва были воплощены в реальные приборы исключительно благодаря искусству мастера-кварцедува Николая Дмитриевича Куликова (рис. 1). Схемы магнитометров “системы Боброва” и КМД были защищены многими авторскими свидетельствами и патентами [Любимов, 2020б]. Всего в период с 1956 по 1990 гг. В.Н. Бобровым и коллегами-соавторами было запатентовано 62 новых идеи-решения по конструкции кварцевых приборов. Входившее в то время (с 1964 по 1975 гг.) в состав института СКБ ИЗМИРАН, а затем и СКБ ФП АН СССР, выпускало КМД и приборы конструкции В.Н. Боброва десятками и сотнями [Любимов, 2020б]. Так, одной из наиболее удачных конструкций МВС, разработанной в СКБ ИЗМИРАН, была полевая магнитовариационная станция ИЗМИРАН-4 [Бобров, 1965]. Эта разработка МВС оказалась настолько удачной, что ее выпускали долгие годы серийно и применяли как во многих отечественных и зарубежных МО, так и при проведении научных исследований и, особенно, для экспедиционных и полевых работ.



Рис. 1. Основатели, создатели кварцевого магнитного приборостроения в ИЗМИРАН и их ученики и последователи.

3. ОТ АНАЛОГОВЫХ КВАРЦЕВЫХ ПРИБОРОВ К ЦИФРОВЫМ

Первые известные публикации сотрудников института, связанные с созданием ЦМВС и экспериментальными работами с ними, относятся к 1975–1977 гг. В это время появились опытные образцы КМД с электрическим выходом на основе различных конструкций самодельных или промышленных фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) [Любимов, 2020а, б]. В период с 1977 по 1979 г. некоторыми творческими коллективами и исследователями были предложены способы и различные варианты преобразователей аналогового сигнала КМД (с выхода ФЭП) в цифровой код. Эти их предложения в дальнейшем и послужили началом разработок и изготовления различных конструкций преобразователей [Любимов, 2020б] напряжение/код или ток/код (тогда еще не существовало микросхем современных АЦП).

Одна из этих творческих групп сотрудников института под руководством А.Н. Зайцева кури-

ровала в течение нескольких лет разработку и изготовление первых вариантов ЦМВС, которая велась СКБ ФП. Со стороны СКБ ФП группой конструкторов руководил В.И. Одинцов, и этой группой на основе КМД были разработаны опытные образцы цифровых станций ЦМВС-1 и ЦМВС-2 [Любимов, 2020а, б], некоторые из которых затем были установлены на различных МО для испытаний [Зайцев, 1989; Любимов, 2020а]. Следует отметить, что В.И. Одинцов, работая с группой соратников в СКБ ФП в период с 1975 по 2017 гг., внес большой творческий вклад в кварцевое магнитное приборостроение института. При его непосредственном участии СКБ ФП создано несколько моделей ЦМВС для различного применения, и он также занимался проведением натурных испытаний ЦМВС в различных условиях и средах [Амиантов и др., 2001; Любимов, 2020а]. Некоторые конструктивные новые решения созданных приборов были им запатентованы или были получены авторские свидетельства на них [Любимов, 2020б].

В это же время проявляли активность творческие группы сотрудников под руководством Б.А. Белова и Ю.А. Бурцева, а также группы сотрудников под руководством В.Н. Боброва, В.О. Папиташвили и С.П. Гайдаша. Этими коллективами сотрудников развивались направления в создании как полевых и обсерваторских приборов, так и приборов для проведения исследований в морских условиях [Бобров и др., 1979; Любимов, 2020а]. Конструкторские решения созданных опытных образцов приборов были неоднократно запатентованы [Любимов, 2020б].

Работы по созданию донной магнитовариационной станции С.П. Гайдашом и А.Г. Гойдиной были начаты в начале 1978 г. И уже в течение года был изготовлен первый опытный образец кварцевой донной МВС (ДМВС) для морских исследований. Первые публикации по этой работе относятся к 1979 г. [Бобров и др., 1979; Любимов, 2020а]. Сложность и уникальность этой работы состояла в том, что надо было определенным образом ориентировать чувствительный элемент станции в водной среде, на дне моря. Решение этой проблемы было достигнуто авторами путем крепления КМД в карданном подвесе. При этом для ориентации датчиков по магнитному меридиану применена схема так называемого “развертывающегося преобразования”, которая авторами разработки была запатентована. Группой сотрудников ИЗМИРАН было сделано несколько моделей ДМВС, а авторы разработок приняли непосредственное участие в их натурных испытаниях на различных акваториях. Результаты этих исследований приведены С.П. Гайдашом в его диссертационной работе [Любимов, 2020б].

Следует отметить, что все конструкторские решения и схемы ДМВС были выполнены с использованием (на тот момент времени) самой современной элементной базы и технологий, с применением программируемых элементов и блоков, позволяющих гибко перестраивать метрологические свойства системы. Достигнуты наилучшие в мировой практике значения. Основные конструкторские решения и идеи этой творческой группы сотрудников защищены девятью авторскими свидетельствами на изобретения [Любимов, 2020б].

В 1977 г. ИЗМИРАН начал совместные работы с СКБ ФП по созданию опытного образца автоматической МВС (АМВС), предназначенной для работы в условиях Антарктиды [Бурцев и др., 1977]. Эти работы велись под научным руководством известного полярного исследователя С.М. Мансурова. Основные требования к АМВС заключались в следующем: станция должна быть выполнена в качестве “измерительной платформы” (ИП), которая включала бы в себя возможность регистрации в аналоговой форме (на фото-

пленку) не только вариаций составляющих ВМИ поля Земли, но и возможность регистрации изменений нивелировки (ориентации в пространстве) станции и КМД в двух плоскостях. А также эта ИП должна осуществлять регистрацию температуры внутри магнитоизмерительного преобразователя (МИП) и внешней окружающей среды.

Были созданы несколько образцов кварцевых АМВС, которые затем были установлены сотрудниками ИЗМИРАН на ПН в Антарктиде [Зайцев, 1989], где проработали в течение 15 лет при обеспечении научного эксперимента под названием “Геофизический полигон в Антарктиде”.

В начале 1980 г. по техническому заданию ИЗМИРАН был начат следующий этап работ в СКБ ФП АН СССР по созданию опытной серии цифровой АМВС для Антарктиды. Этот проект получил название АМВС ПИНГВИН [Любимов, 2020а]. Разработка конструкции станции была сделана с применением первых отечественных больших гибридных микросхем К-МОП технологии, характеристики которых обеспечивали работу всех схем станции на ПН в суровых условиях минусовых температур Антарктики. В результате, СКБ ФП была выпущена опытная партия этих приборов, которые были установлены на ПН в Антарктиде. В общей сложности в экспериментах и научных исследованиях принимало участие от 5 (в 1975 г.) до 12 (в 1989 г.) одновременно работающих АМВС [Зайцев, 1989; Любимов, 2020б].

В период с 1985 по 1990 гг. эти работы были продолжены, конструкторами СКБ ФП была разработана ЦМВС для Антарктиды под названием ЦМВС-6 [Любимов, 2020б] и выпущена опытная партия из 3 приборов.

В начале 80-х гг. по техническому заданию ИЗМИРАН в СКБ ФП АН СССР был осуществлен серийный выпуск 53 ЦМВС на базе КМД под названием ЦМВС-2, которые при активном участии сотрудников института [Зайцев, 1989; Амиантов и др., 2001; Любимов, 2020а] затем были установлены на сети МО СССР, в том числе и на ПН в районе Крайнего Севера (КС) (рис. 2).

В этот период времени бригада научных сотрудников ИЗМИРАН совместно с сотрудниками отдела геофизики Арктического и Антарктического научно-исследовательского института (ААНИИ) курировала работы, связанные с обеспечением работоспособности ЦМВС на ПН, проводила экспедиционные и исследовательские работы на точках наблюдений на КС [Любимов, 2018]. Начиная с 1985 г. часть установленных в районе КС станций ЦМВС-2 длительное время вели цифровую регистрацию данных, в результате которой была создана и опубликована база цифровых 1-минутных данных МО и ПН (расположенных в районе КС), которые были включены в базу цифровых

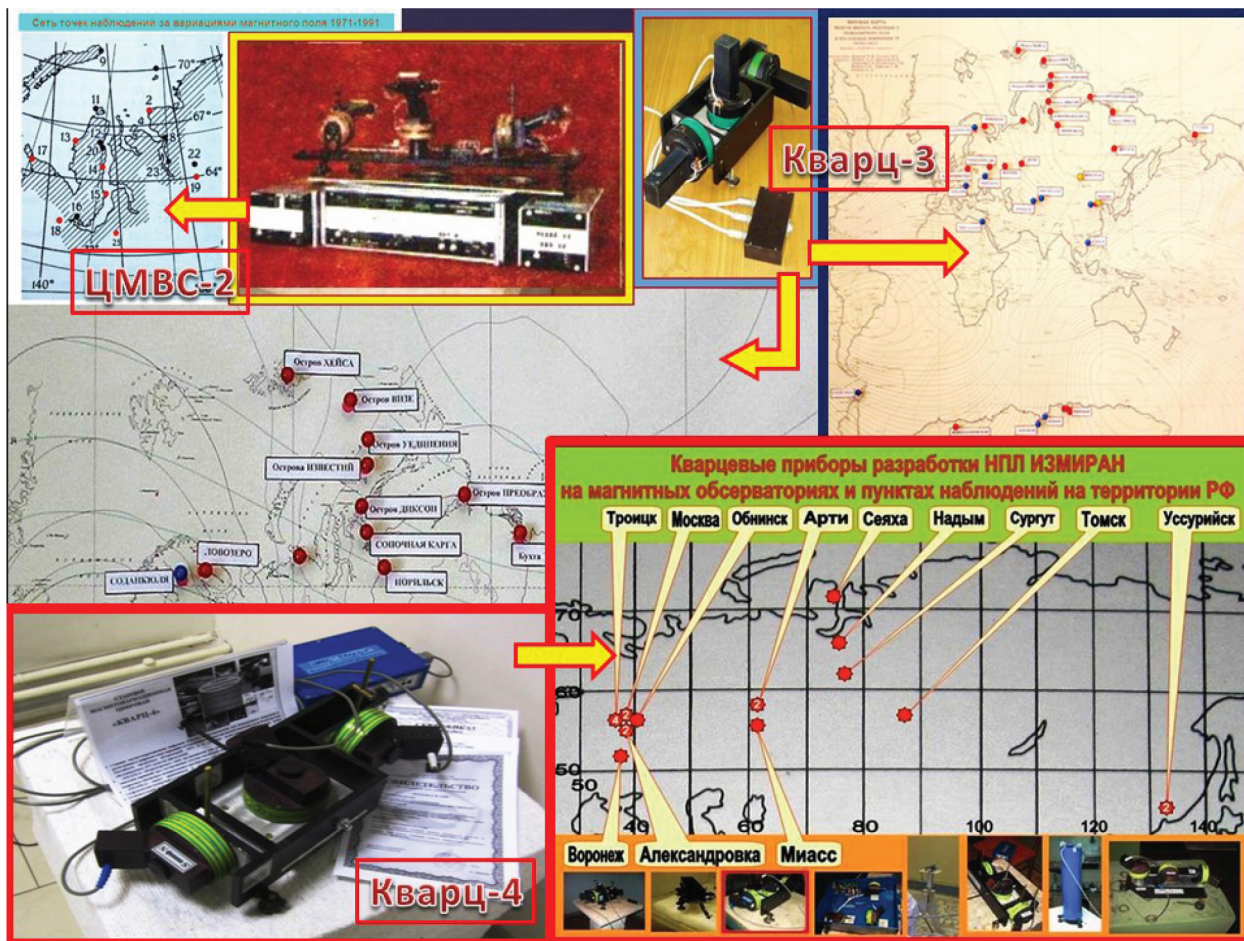


Рис. 2. Схемы установленных ЦМВС на магнитных обсерваториях и пунктах наблюдений в России и за рубежом.

данных МО России за период 1984–2000 гг. [Амиантов и др., 2001].

В настоящее время на некоторых МО эти приборы имеются, но уже не в рабочем состоянии, например, в обс. Мыс Шмидта и ПН Мыс Каменный [Любимов, 2020а]. А в большинстве обсерваторий ЦМВС-2 уже не используется, так как этот прибор имеет довольно большие физические размеры и потребление энергии, а электроника устарела и не имеет прямой стыковки с современным компьютером.

Первые работы творческой группы сотрудников под руководством Б.А. Белова и Ю.А. Бурцева относятся к началу 1977 г., когда вышла их совместная публикация по работе над цифровыми преобразователями для КМД [Любимов, 2020б, п. 4.8]. Затем (с 1977 по 1981 гг.) последовал ряд работ, связанных с исследованием стабильности КМД, ФЭП, а также было получено несколько авторских свидетельств по усовершенствованию оптической системы КМД и ФЭП (1983 г.) и меж-

дународных патентов (1984 г.) по реализации ЦМВС на их основе [Любимов, 2020б].

В период с 1990 по 1993 гг. этим коллективом сотрудников была создана новая модель ЦМВС под названием КВАРЦ-3 [Бурцев, 2000]. Эта новая модель ЦМВС (рис. 3) превосходила ЦМВС-2 по многим основным техническим характеристикам и отличалась от других моделей ЦМВС, созданных в это время в институте, запатентованной авторами оригинальной конструкцией ФЭП в КМД [Любимов, 2020б].

Один из первых экземпляров ЦМВС КВАРЦ-3Е был установлен на австралийской антарктической обс. Дэвис в 1992 г. [Бурцев, 2000]. В 1994 г. ЦМВС модели КВАРЦ-3Е была изготовлена для Мичиганского университета США и установлена сотрудниками ИЗМИРАН в Антарктиде (на ст. Восток). Данные этой ЦМВС через американский спутник связи в течение 5 лет (начиная с 1995 г.) передавались в МЦД США в реальном времени. Аналогичный эксперимент по передаче данных через японский спутник ИЗМИРАН осу-

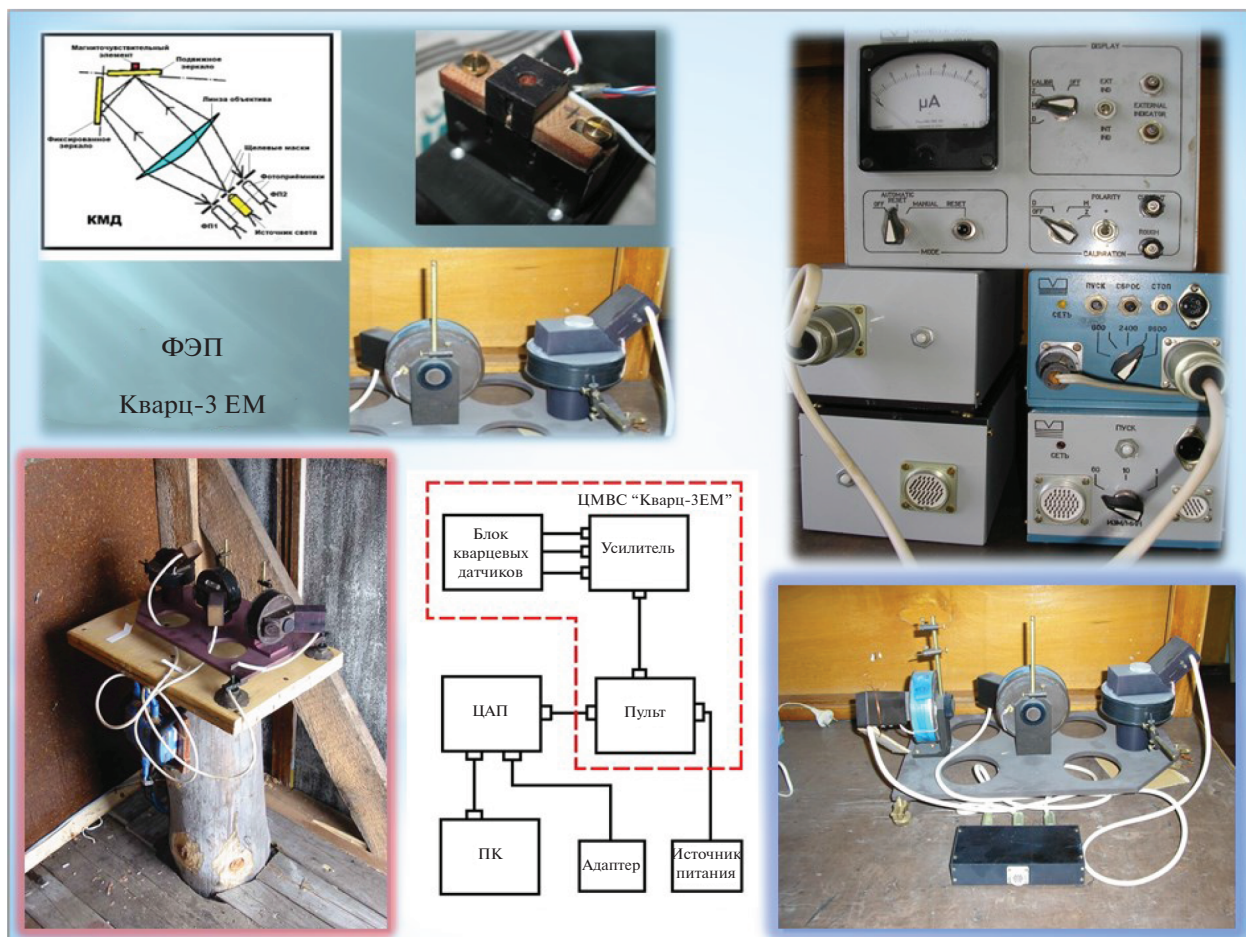


Рис. 3. Общий вид аппаратуры, входящей в состав ЦМВС КВАРЦ-3ЕМ.

шесть в 1998 г. Данные поступали от ЦМВС КВАРЦ-3Е, которая была установлена на геофизической обсерватории Тикси (ИКФИА), при помощи ИП, которая была создана сотрудниками японского университета в г. Киото. В результате ЦМВС серии КВАРЦ-3 (различные ее модели общим количеством 30 приборов) нашли свое применение в научных программах и исследованиях как в России, так и за рубежом. Например, на КС (в зоне полярных сияний) ЦМВС серии КВАРЦ-3Е установлены (см. рис. 2) от ПН мыса Уэлен на востоке до МО Соданкюля (Финляндия) [Бурцев, 2000; Любимов, 2021a]. Общее количество установленных на КС станций – 12.

ЦМВС КВАРЦ-3 успешно используются и в настоящее время в международных программах, включая ИНТЕРМАГНЕТ (на МО Иркутск, Пекин, Соданкюля, Тихань).

В начале XXI в. процесс создания новых магнитометрических приборов в ИЗМИРАН ожил. Из ведущих специалистов в области магнитного приборостроения в ноябре 2004 г. была создана научно-производственная лаборатория

геомагнитных приборов и измерений (НПЛ). Необходимо было восстановить утраченные ранее темпы в создании новых современных МИП и магнитометров на основе современных технологий, на базе различного типа магниточувствительных датчиков (МЧД) и имеющегося богатого опыта в применении магнитометрической аппаратуры.

В процессе проведения работ и исследований перед сотрудниками НПЛ ставились вопросы помощи в оснащении (имеющихся и временно прекративших работу) МО и ПН современным методическим материалом и магнитоизмерительным инструментарием, а также разработка новых ЦМВС, адаптированных к местным условиям применения. Как итог деятельности сотрудников НПЛ в институте (начиная с 2005 г.) за последние 15 лет, было создано несколько моделей различного типа и вида современных магнитометров и вариационных станций, информации о которых можно узнать из публикаций [Бобров и Любимов, 2005; Любимов, 2020a; Бурцев и др., 2006; Белов и др., 2006; Кириаков и Любимов, 2010, 2012,



Рис. 4. Общий вид различных вариантов и моделей конструкции ЦМВС КВАРЦ-4.

2020а; Lyubimov, 2019]. При этом главное внимание было уделено модернизации традиционных для ИЗМИРАН приборов – ЦМВС на основе КМД. В 2005 г. сотрудниками НПЛ, на основе опыта разработок ранее созданных различных отечественных и зарубежных ЦМВС, была создана новая модель ЦМВС под названием КВАРЦ-4 [Бурцев и др., 2006]. Это решение ЦМВС отличалось от всех ранее созданных станций новой конструкцией ФЭП, электронных узлов, компактностью и экономичностью. Все основные элементы станции созданы с применением современных технологий SMT-монтажа и с применением SMD-компонентов. Эта базовая разработка ЦМВС КВАРЦ-4 и ее последующие модификации КВАРЦ-4МО, КВАРЦ-4АС и другие модели (было изготовлено 20 комплектов различных вариантов и моделей ЦМВС) в последние годы были размещены в различных МО и ПН на территории РФ (см. рис. 2).

На рисунке 4 показаны самая первая модель ЦМВС КВАРЦ-4 (стационарный вариант для МО) и более современные модели ЦМВС КВАРЦ-4МО

и КВАРЦ-4АС, которые созданы для проведения научных и экспедиционных исследований в необслуживаемых и редко обслуживаемых ПН и для стационарной работы, в том числе и в МО. Для района КС в период с 2007 по 2011 гг. было сделано 4 комплекта ЦМВС КВАРЦ-4МО [Любимов, 2018]. Последняя модификация этой ЦМВС под названием КВАРЦ-4АС [Любимов, 2016а, б] прошла всесторонние метрологические испытания и испытания типа и по их результатам в 2016 г. была включена в Государственный реестр средств измерений (№ 63 306-16).

Основные технические характеристики некоторых моделей созданных в институте ЦМВС для их сравнения представлены в таблице в работах [Белов и др., 2006; Любимов, 2020а].

Следует отметить, что в последние годы различными творческими группами сотрудников ИЗМИРАН было (на основе ранних конструкций КМД) создано несколько других вариантов кварцевых ЦМВС, некоторые из них в настоящее время установлены и работают на МО (см. рис. 2) и ПН как на юге РФ, так и в районе КС [Кузнецов

и др., 2011; Канониди и др., 2015; Любимов, 2020б]. Некоторые из этих разработок являлись опытными образцами или действующими макетами, поэтому никаких публикаций про них (и необходимых технических и эксплуатационных характеристик для сравнения) не было найдено.

В 2006 г. сотрудником ИЗМИРАН К.Х. Канониди была создана трехкомпонентная цифровая МВС, которая прошла метрологические испытания во ВНИИМ и по их результатам в 2007 г. была включена в Государственный реестр средств измерений (№ 35059-07) и используется для проведения специальных работ. Аналогичные цифровые МВС установлены еще в десяти ПН на территории России (в Крыму и на Кавказе), а также в ПН на КС (г. Карпогоры, Архангельской области), где более десятка лет ведутся стационарные наблюдения на научном стационаре ИЗМИРАН [Кузнецов и др., 2011], и на МО Калининград. Эта МВС [Любимов, 2020б] является современным цифровым обсерваторским магнитометрическим прибором с возможностью передачи измеренных данных по сети сотовой телефонной связи.

Цифровые и визуализируемые суточные аналоговые данные некоторых из этих цифровых МВС на ПН можно наблюдать в реальном времени на сайте геофизических данных ИЗМИРАН: <https://izmiran.ru>.

В 2005 г. в НПЛ на базе КМД конструкции В.Н. Боброва с электрическим выходом была создана цифровая станция под названием ЦМВСБ. Основные технические характеристики этой ЦМВС указаны в работе [Бобров и Любимов, 2005]. Отличительной особенностью этой разработки было то, что она имела три варианта конструкции блока датчиков, которые были предназначены для проведения исследовательских работ как в полевых условиях, так и в условиях МО.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящем обзоре предпринята попытка систематизации всей деятельности сотрудников ИЗМИРАН на протяжении многих лет в плане общего развития направления кварцевого магнитного приборостроения и его применения в России и за рубежом. Систематизирована база знаний в плане подбора практически всех основополагающих литературных источников и публикаций сотрудников института по этой тематике. Показан огромный вклад В.Н. Боброва — легенды отечественного и зарубежного кварцевого магнитного приборостроения, приборы которого и в настоящее время используются как в отечественных, так и в зарубежных обсерваториях для научных исследований и практических работ [Любимов, 2020б].

Следует отметить, что процесс создания ЦМВС с применением современных средств техники и технологий, несмотря на уход из жизни поколения главных идеологов кварцевого магнитного приборостроения, продолжается. Уже в настоящее время в институте создан ряд конструкций и опытных образцов ЦМВС на основе КМД, которые развивают эту тематику и обладают новыми более высокими техническими и эксплуатационными характеристиками [Любимов, 2016а, б, в, г, 2019а, б; 2021а, б; Lyubimov, 2022a, b]. При этом в разработках используются новые возможности и технологии по обмену и передаче данных.

БЛАГОДАРНОСТИ

Автор хотел бы выразить благодарность и признательность ученым и сотрудникам ИЗМИРАН (А.С. Амиантову, Ю.А. Бурцеву, Б.А. Белову, С.П. Гайдашу, А.Г. Гойдиной, В.А. Жиякову, А.Н. Зайцеву, К.Х. Канониди, Ю.Ю. Кашубе, А.И. Кудревскому, Н.Д. Куликову, П.А. Майсурадзе, С.М. Мансурову, Б.П. Мурашову, В.И. Одинцову, В.О. Папитушвили, Ю.П. Сизову, Г.А. Тимофееву, О.В. Филатову, В.Ф. Шельтингу) — участникам и идеологам работ, которые внесли большой личный вклад в создание кварцевых датчиков, МВС и ЦМВС. Хотелось отметить также авторов уникальных компьютерных программ (В.Х. Кириакова, В.Г. Петрова), созданных в институте для современных ЦМВС, которые используются в настоящее время во многих МО. С помощью созданного ими программного обеспечения для ЦМВС приборы ИЗМИРАН могут легко интегрироваться во многие отечественные и зарубежные проекты по сбору, обработке и коллекционированию полученных цифровых данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- *Амиантов А.С., Зайцев А.Н., Одинцов В.И., Петров В.Г.* Вариации магнитного поля Земли: База цифровых данных магнитных обсерваторий России за период 1984–2000 гг. (брошюра и оптический диск CD-ROM). М.: СтройАрт. 52 с. 2001.
- *Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В.* Цифровые кварцевые магнитные вариационные станции // Датчики и Системы / Новые приборы. М.: “ООО СенСиДат. № 5. С. 35–38. 2006.
- *Бобров В.Н., Шельтинг В.Ф.* Цельно кварцевая крутильная рамка для вариометров и магнитометров. Авторское свидетельство СССР № 104725. БИ № 22. 1956.
- *Бобров В.Н.* Универсальный высокостабильный чувствительный элемент с нулевым температурным коэффициентом для магнитометров, вариометров и микровариометров, регистрирующих любую компоненту земного магнитного поля // Труды ИЗМИРАН. М. Вып. 18(28). С. 55–67. 1961.
- *Бобров В.Н.* Серия кварцевых магнитных вариометров // Геомагнетизм и аэрномия. Т. 2. № 3. С. 348–356. 1962.

- *Бобров В.Н.* Кварцевые геомагнитные приборы // Вестн. АН СССР. М. Вып. 2. С. 82–84. 1963.
- *Бобров В.Н.* Трехкомпонентная полевая магнитовариационная станция “ИЗМИРАН-4” // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 5. № 5. С. 892–895. 1965.
- *Бобров В.Н.* Пятикомпонентная полевая электромагнитная вариационная станция // Геомагнетизм и аэрономия. Т.11. № 3. С. 570–573. 1971.
- *Бобров В.Н., Гайдаш С.П., Куликов Н.Д.* Двухкомпонентная морская магнитная вариационная станция // Фундаментальные проблемы электромагнитных исследований в океанах. М.: ИЗМИРАН. С. 45–50. 1979.
- *Бобров В.Н., Любимов В.В.* Цифровая магнитовариационная станция // Датчики и Системы / Новые приборы. М.: “ООО СенСиДат”. № 2. С. 40–42. 2005.
- *Бурцев Ю.А., Мансуров С.М., Тимофеев Г.А.* Автономная вариационная станция для геомагнитных исследований в Антарктиде // Геомагнитное приборостроение. М.: Наука. С. 60–64. 1977.
- *Бурцев Ю.А.* Магнитовариационная станция Кварц-3Е в международных исследованиях / Сб. “Материалы международной школы-семинара по компьютерной автоматизации и информатизации”. М.: МГУ. С. 89–91. 2000.
- *Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В.* Цифровая магнитовариационная станция “КВАРЦ-4” // Датчики и Системы / Новые приборы. М.: “ООО СенСиДат”. № 1. С. 45–48. 2006.
- *Зайцев А.Н.* Исследования в Арктике и Антарктике / Электромагнитные и плазменные процессы от Солнца до ядра Земли. М.: Наука. С. 315–327. 1989.
- *Канониди К.Х., Канониди Х.Д., Петров В.Г.* Развитие сети геомагнитных наблюдений ИЗМИРАН / Электромагнитные и плазменные процессы от недр Солнца до недр Земли. М.: ИЗМИРАН. С. 77–87. 2015.
- *Кириаков В.Х., Любимов В.В.* Новые разработки: цифровая магнитная обсерватория // Датчики и Системы / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. М.: “ООО СенСиДат”. № 4. С. 22–24. 2010.
- *Кириаков В.Х., Любимов В.В.* Цифровая магнитовариационная автоматическая станция // Dynamika naukowych badan – 2012 / Materiały VIII Międzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji 07–15 lipca 2012/ Fizyka. Przemysl. V. 22. S. 31–35. 2012.
- *Кузнецов В.Д., Канониди Х.Д., Канониди К.Х., Ружин Ю.Я.* Карпогорский научный стационар ИЗМИРАН / Материалы международной конференции “Развитие академической науки на родине М.В. Ломоносова”. Архангельск. С. 109–114. 2011.
- *Любимов В.В.* Станция трехкомпонентная магнитовариационная // Приборы. М. № 12. С. 1–4. 2016а. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2567474>
- *Любимов В.В.* Новые приборы для геомагнитных исследований: магнитовариационная станция // Nauka I studia / Fizyka. Przemysl. NR 24-6 (160). S. 28–33. 2016б.
- *Любимов В.В.* Высокостабильный магнитный измерительный преобразователь на основе кварцевых датчиков для цифровых геомагнитных обсерваторий различных широт // Nauka I studia. Przemysl. V.10. S. 400–413. 2016в.
- *Любимов В.В.* Цифровой магнитоизмерительный преобразователь на основе кварцевого магнитного датчика и миниатюрного фотоэлектрического преобразователя линейных и угловых перемещений // Nauka I studia. Przemysl. V. 11. S. 82–94. 2016.
- *Любимов В.В.* К 45-летию геомагнитных исследований ИЗМИРАН на Крайнем Севере: История создания и применения цифровых магнитометров (Обзор) // Уральский научный вестник. Физика: Геофизика. г. Уральск: ТОО Уралнаучкнига. V. 2. № 8. С. 3–14. 2018. <https://doi.org/10.5281/zenodo.2565661>
- *Любимов В.В.* Магнитоизмерительный преобразователь для цифровых вариационных станций // Приборы. М. № 8. С. 11–16. 2019а. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3463661>
- *Любимов В.В.* Двухкомпонентный кварцевый вариометр // Евразийское научное объединение. М. № 12(58). С. 50–53. 2019б. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3603859>
- *Любимов В.В.* К 80-летию ИЗМИРАН: цифровые кварцевые магнитовариационные станции (история их создания и применения) // Евразийское научное объединение. М. № 4(62). С. 480–493. 2020а. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3818532>
- *Любимов В.В.* Кварцевые датчики магнитного поля, магнитовариационные станции и приборы на их основе (Библиография) // Евразийское научное объединение. М. № 5(63). С. 130–144. 2020б. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3888083>
- *Любимов В.В.* Кварцевые магнитовариационные станции ИЗМИРАН на полярных обсерваториях и пунктах наблюдений: от аналоговых к цифровым приборам // Евразийский союз ученых (ЕСУ). М. № 11(92) Т. 1. С. 8–18. 2021а. <https://doi.org/10.31618/ESU.2413-9335.2021.1.92.1506>
- *Любимов В.В.* Цифровой вариометр-магнитометр-градиентометр с фиксированной измерительной базой на основе кварцевого магнитоизмерительного преобразователя // Евразийское научное объединение. М. № 12(82). С. 92–95. 2021б. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5833336>
- *Мансуров С.М.* Теория магнитных вариационных приборов // Труды НИИЗМ. М. Вып. 12(22). С. 91–182. 1957.
- *Шельтинг В.Ф.* Кварцевый Z-вариометр // Тр. НИИЗМ. Л. Вып. 7(17). С. 144–187. 1953.
- *Шельтинг В.Ф.* Полевая вариационная магнитная станция. Авторское свидетельство СССР № 104677. Класс 42с, 43. 1954.
- *Lyubimov V.V.* Quartz variometer // American Scientific Journal. Elmhurst AV, Queens, NY, United States. N (32). V. 2. P. 31–35. 2019. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3596918>
- *Lyubimov V.V.* Compact digital quartz variometer for observatories and scientific research // Journal of Engineering and Technology Development Research (JETDR). ArtMedia24. Industriestrasse 8,74589 Satteldorf Germany. V. 1. № 1. P. 14–16. 2022а. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6077888>
- *Lyubimov V.V.* Quartz magnetometer-gradimeter // Journal of Engineering and Technology Development Research (JETDR). ArtMedia24. Industriestrasse 8,74589 Satteldorf Germany. V. 1. № 1. P.11–14. 2022б. <https://doi.org/10.5281/zenodo.6077729>