

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК И ЕГО ВАРИАНТЫ ДЛЯ ПОСТРОЕНИЯ
МАГНИТОМЕТРОВ НА БАЗЕ КВАРЦЕВЫХ ДАТЧИКОВ С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ
ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

Любимов Владимир Валерьевич

старший научный сотрудник

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова

Российской академии наук, г. Троицк,

ORCID: 0000-0002-3316-4656

DOI: 10.31618/ESU.2413-9335.2022.1.103.1731

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена описанию конструкции универсального электронного блока являющегося основным элементом для современных кварцевых магнитовариационных станций. Созданные на его основе магнито-измерительные преобразователи имеют возможность применения различных конструкций аналоговых фотоэлектрических преобразователей, - в том числе созданных ранее. Варианты построения схемы электронного блока используют современные технические и технологические решения, связанные преобразованием аналогового сигнала от датчиков в цифру, с регистрацией и передачей измеренных накопленных данных различными способами. Построенные на основе блоков электроники современные кварцевые станции предназначены для проведения геомагнитных работ в различных условиях, - как в обсерваториях и стационарных пунктах наблюдений, так и для работы в полевой экспедиции.

ABSTRACT

The work is devoted to the description of the universal electronic unit design that is the main element for modern quartz magnetovariation stations. Magnetic measuring converters created on its basis have the possibility of using various designs of analog photoelectric converters, including those created earlier. Variants of building the electronic unit circuit use modern technical and technological solutions related to the conversion of the analog signal from the sensors into digital, with the registration and transmission of the measured accumulated data in various ways. Built on the basis of electronics blocks, modern quartz stations are designed to carry out geomagnetic work in various

преобразователь.

Keywords: Magnetic field, magnetic measurements, component measurements, quartz sensor, magnetovariation station, photoelectric converter. conditions - both in observatories and stationary observation points, and for work in a field expedition.

Ключевые слова: Магнитное поле, магнитные измерения, компонентные измерения, кварцевый датчик, магнитовариационная станция, фотоэлектрический

ВВЕДЕНИЕ

В результате проведённых научно-исследовательских и опытных работ создана новая конструкция универсального электронного блока (блока электроники – БЭ), которая стала основой разработанных современных цифровых магнитовариационных станций (ЦМВС) на основе кварцевых магнитных датчиков (КМД) [1-32].

Построенный на основе КМД и БЭ трехканальный магнито-измерительный преобразователь (МИП) имеет возможность одновременной реализации двух вариантов преобразования, а именно, - «поле/напряжение» и «поле/цифровой код». При этом обеспечивается достаточно простое получение информации при помощи подключаемого персонального компьютера (ПК). Этот МИП имеет следующие отличительные особенности от всех ранее созданных аналогичных конструкций:

- высокая стабильность работы во времени, - что важно для длительных исследований в условиях магнитных обсерваторий (МО);

- хорошая стабильность, работы при изменении температуры окружающей среды в широких пределах, - что важно при проведении полевых и экспедиционных работ;

- низкий уровень собственных шумов измерительного канала (ИК), амплитуда которых не более 3...5 пТл;

- малое потребление энергии, - что позволяет эффективно использовать МИП в конструкциях автономных станций с питанием от аккумуляторных (АБ) или солнечных (СБ) батарей;

- возможность работы с КМД различных конструкций (в том числе ранее созданных), которые имеют различные схемы построения фотоэлектрических преобразователей (ФЭП) аналогового типа;

- хранение, накопление и передачу измеренных данных в цифровой и аналоговой форме в регистрирующее устройство различными способами, реализующими новые современные технологии передачи данных.

О различных вариантах универсальных БЭ, созданных в условиях ИЗМИРАН, их технических характеристиках и разработанных на их основе магнитометрических приборах речь пойдет ниже. В обзоре также прилагается перечень литературы [1-32] (по времени публикации) по всем созданным на основе БЭ приборам.

МИП НА ОСНОВЕ ФЭП РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Современные КМД мало чем изменились и отличаются от традиционных [27, 28] в плане конструктивных размеров КМД и элементов его «обрамления» (корпусов и кварцевых рамок с кварцевыми нитями, на которых крепятся чувствительные элементы, - магниты). Основные изменения КМД вносились в направлении изменения конструкции ФЭП. Различные варианты ФЭП, созданные и применяемые как в отечественных, так и в выпущенных сериях зарубежных кварцевых ЦМВС [28], представлены на *рис.1*.

На *рис.1а* показана схема ФЭП, применяемая в классических разработках В.Н. Боброва для КМД с электрическим выходом. Примером построения МИП на основе такой конструкции ФЭП является кварцевая цифровая МВС (ЦМВС) типа ЦМВСБ, характеристики которой указаны в работе [8], а также цифровые МВС разработанные в ИЗМИРАН [11, 28] и Институтом геофизики Польской Академии наук ЦМВС под коммерческим названием PSM [28] (см. *рис.1б* и *рис.1г*). На *рис.1в* показана схема ФЭП, использованная в разработках серии ЦМВС-2 (СКБ ФП РАН) [3, 6, 28].

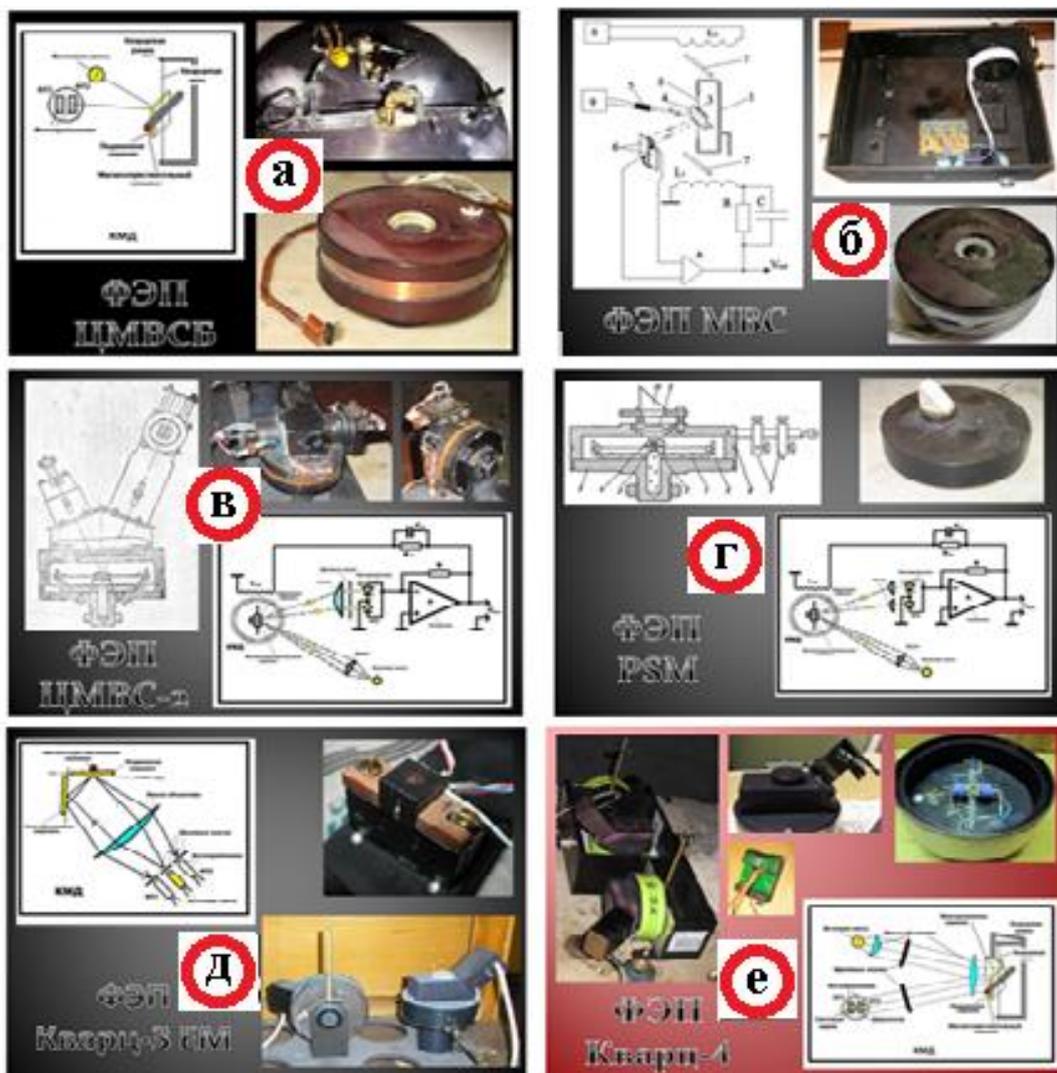


Рис.1. Различные варианты ФЭП, созданные и применяемые для кварцевых ЦМВС.

На *рис.1д* показана схема ФЭП, на основе которой построены ЦМВС серии «Кварц-3»: «Кварц-3Е», «Кварц-3ЕМ» и «Кварц-3Д» [5, 9, 28]. Разработка и применение специальной оптической системы ФЭП угловых смещений в конструкции ЦМВС «Кварц-3ЕМ» позволили максимально реализовать все достоинства кварцевого магниточувствительного элемента (МЧЭ): существенно увеличить её измерительный диапазон, улучшить разрешающую способность, а

также расширить частотные характеристики. Принцип работы ФЭП подробно рассмотрен в работе [9].

На *рис.1е* показана схема, которая используется во всех современных конструкциях ФЭП созданных в последние годы ЦМВС серии «Кварц-4»: «Кварц-4М», «Кварц-4МО» и «Кварц-4АС» [10, 13, 14, 28]. Эта схема ФЭП является аналогичным, но модернизированным вариантом схемы угловых смещений, которая применяется в

ЦМВС серии «Кварц-3». Основной отличительной особенностью схемы ФЭП, используемой в разработках ЦМВС серии «Кварц-4», является возможность применения различного типа светоизлучающих диодов (от обычных «разноцветных», - до инфракрасных) без изменения конструкции и перенастройки параметров ИК, которая осуществляется в этом случае при помощи программного обеспечения (ПО). При этом обеспечивается реальная простота в процессе настройки каждого из ИК прибора.

ЦМВС «Кварц-4», - это высокостабильный, интеллектуальный и компьютеризованный прибор нового поколения с широкими возможностями программной установки и изменения различных параметров схемы. Этот прибор имеет возможность накопления цифровых данных, проведение их

обработки и фильтрации процессе проведения измерений.

СОВРЕМЕННОЕ ПОСТРОЕНИЕ МИП ЦМВС

Классические структурно-функциональные схемы МИП применяемые для построения ЦМВС [16-20, 22, 24] на основе КМД показаны на *рис.2а* и *рис.2б*. Эти схемы включают в себя следующие функциональные узлы: КМД, ФЭП, усилитель постоянного тока (УПТ) и цепь отрицательной обратной связи (ООС) с катушкой, которая намотана на корпус КМД. Величиной («глубиной») этой ООС определяется ширина динамического диапазона работы МИП и его стабильность. В настоящее время в конструкциях ЦМВС существует четыре основных варианта исполнения МИП:

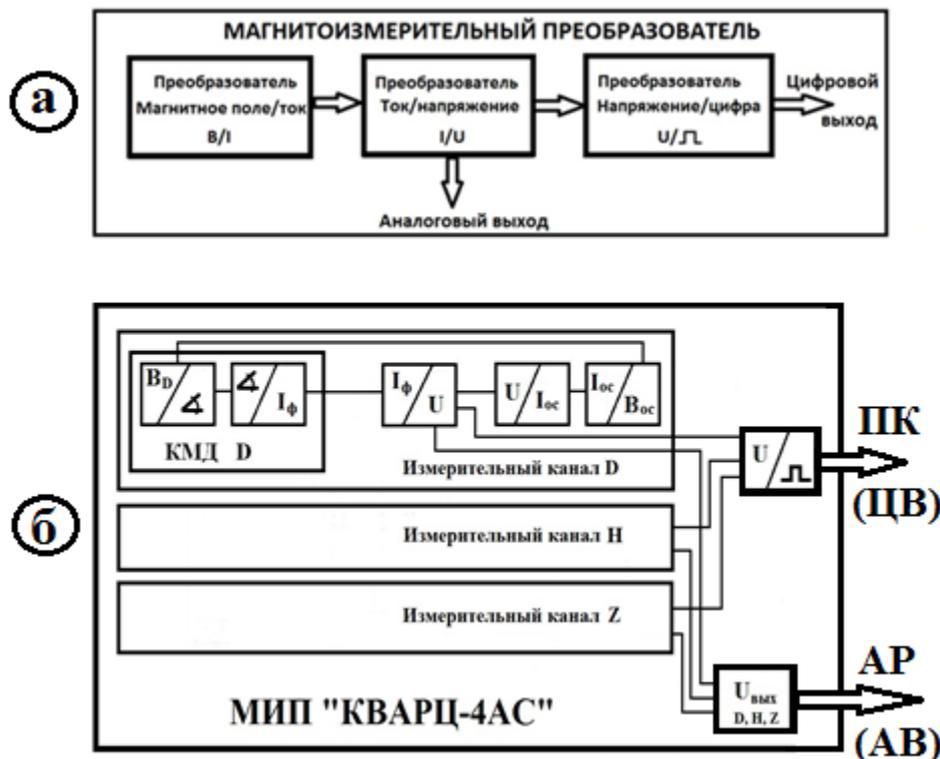


Рис.2. Структурно-функциональные схемы МИП: а-общая схема ИК, б-схема МИП ЦМВС с тремя ИК.

- КМД и схема ФЭП находятся в корпусе КМД, а УПТ соединён с элементами схемы ФЭП кабелем и находится в БЭ на небольшом (1...1,5 м) расстоянии (см. *рис.1а*). При этом питание МИП осуществляется от отдельного источника питания (ИП) с помощью другого кабеля (вариант ЦМВСБ);

- КМД и схема ФЭП находятся в корпусе КМД и всё это вместе с УПТ размещено в отдельном закрытом корпусе (или в контейнере), который оснащён элементами его нивелировки и ориентации в пространстве (см. *рис.1б* и *рис.1з*), а схема ИП подключается извне, при помощи кабеля (варианты МВС и PSM);

- КМД и отдельные элементы схемы ФЭП находятся в корпусе КМД, а некоторые элементы вынесены за его пределы, где размещён также

предварительный усилитель схемы УПТ (см. *рис.1в*). Вся эта конструкция соединена длинным кабелем с УПТ, который располагается в БЭ (на удалении), где также расположен ИП (вариант ЦМВС-2);

- КМД и отдельные элементы схемы ФЭП находятся в корпусе КМД, а некоторые основные элементы ФЭП вынесены за его пределы и соединены кабелем (длиной 1...3 м) с УПТ (см. *рис.1д* и *рис.1е*), который расположен вместе с ИП в БЭ.

В практике магнитометрического кварцевого приборостроения встречаются также схемы построения преобразователей «поле/напряжение», которые включают в себя сочетание нескольких из

перечисленных выше вариантов исполнения МИП [28].

В ранее созданных вариантах МИП ЦМВС, как правило, КМД отстояли на значительном расстоянии от БЭ в силу того, что элементы схемы ФЭП были габаритными [1-4], а также имело место довольно значительное потребление энергии для их электропитания.

Современная микроминиатюризация и новые технологии в создании материалов и радиоэлементов позволили максимальным образом использовать их в построении новой, современной схемы МИП и тем самым значительно уменьшить энергопотребление БЭ, а также его влияние на КМД. Появилась возможность сделать схему МИП (в основном это относится к БЭ) более компактной и экономичной [8], встроить в неё новые (ранее не используемые) элементы, например, схему управления (ранее это называлось – «пульт управления» [5] и было сделано как отдельный

блок) и схему аналого-цифрового преобразователя (АЦП) [10]. В результате у новой конструкции БЭ (и МИП) наряду с выполняемой функцией преобразователя «поле/напряжение» и выводом получаемых ИК аналоговых данных (АВ) на аналоговый регистратор (АР), появилась новая функциональная возможность. Это – осуществление преобразования изменений магнитного поля (МП) в цифровой код («поле/цифра»), которая позволила напрямую подключать БЭ через стандартный последовательный интерфейс (например, RS232) к ПК.

ОСНОВНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ МИП И БЭ

Упрощенная структурная схема МИП и конструкция одного из вариантов БЭ (конструкция входящих в него электронных узлов), который используется во всех разработках ЦМВС «Кварц-4» [10, 15, 28], показаны на *рис. 4*.

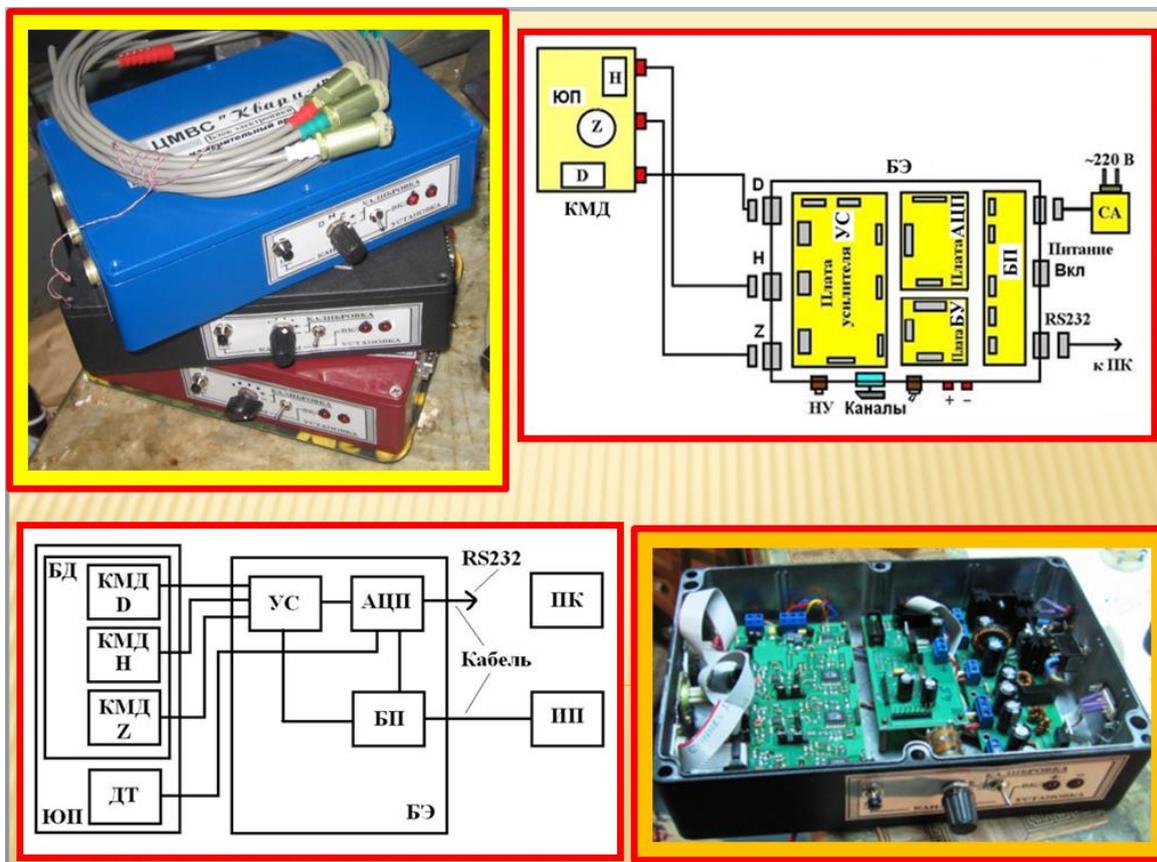


Рис. 4. Структурная схема МИП, схема расположения входящих в БЭ плат и электронных узлов, а также общий вид БЭ.

Структурная схема МИП состоит из следующих основных узлов: блока датчиков (БД), который расположен на юстировочной платформе (ЮП), БЭ, и источника питания (ИП). БД включает в себя три вариометра, состоящих из КМД D, H, Z с градуировочными кольцами, катушками обратной связи (ООС), ФЭП и элементами точной настройки на МП в точке измерений.

ЮП содержит элементы крепления КМД, жидкостные уровни и элементы юстировки платформы. Конструкция ЮП обеспечивает

взаимную ортогональность базисных векторов КМД с точностью до 1 угл. мин. и жесткую фиксацию относительно друг друга.

БЭ (см. *рис. 4*) включает в себя плату усилителей (УС) (трёхканальный УПТ), плату цифровую АЦП (контроллер, АЦП, последовательный порт RS232), плату блока управления (БУ) и блок питания (БП), построенный с использованием DC-DC преобразователей. БЭ обеспечивает передачу данных, обмен информацией и управляющими

командами через последовательный порт RS232 со скоростью не менее 9600 бод с ПК на расстоянии от 3 до 25 м.

В современных разработках БЭ используется датчик температуры (ДТ), который (в зависимости от варианта исполнения ЦМВС) устанавливается внутри корпуса БЭ или на ЮП и имеет немагнитное исполнение и тепловой контакт с корпусом КМД Z-вариометра.

Элементы БУ (элементы управления режимом работы и установки ИК) расположены на одной из боковых панелей корпуса БЭ. На торцевых панелях БЭ расположены разъемы для подключения КМД, ПК и источника питания – сетевого адаптера (СА). Сам корпус БЭ имеет немагнитное влагозащитное исполнение и располагается в непосредственной близости от КМД. В последних вариантах исполнения ЦМВС удалось добиться увеличения длины кабелей соединяющих БД и БЭ до 3...5 м.

Программное обеспечение (ПО) для МИП обеспечивает организацию базы данных ЦМВС, возможность обработки данных для использования их в формате, пригодном для участия, например, в международных программах сбора данных.

Схема МИП для всех вариантов исполнения ЦМВС «Кварц-4» является одинаковым функционально законченным узлом [10, 15, 17-22]. Благодаря оригинальному ПО все ИК МИП являются взаимозаменяемыми относительно подключаемых КМД и ФЭП.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК ДЛЯ ЦМВС: ОСНОВНОЙ ВАРИАНТ

На *рис.5* представлены функциональная схема универсального БЭ и фото отдельных блоков, входящих в состав комплекта ЦМВС серии «Кварц-4» [16-18]: КМД, БЭ и СА.

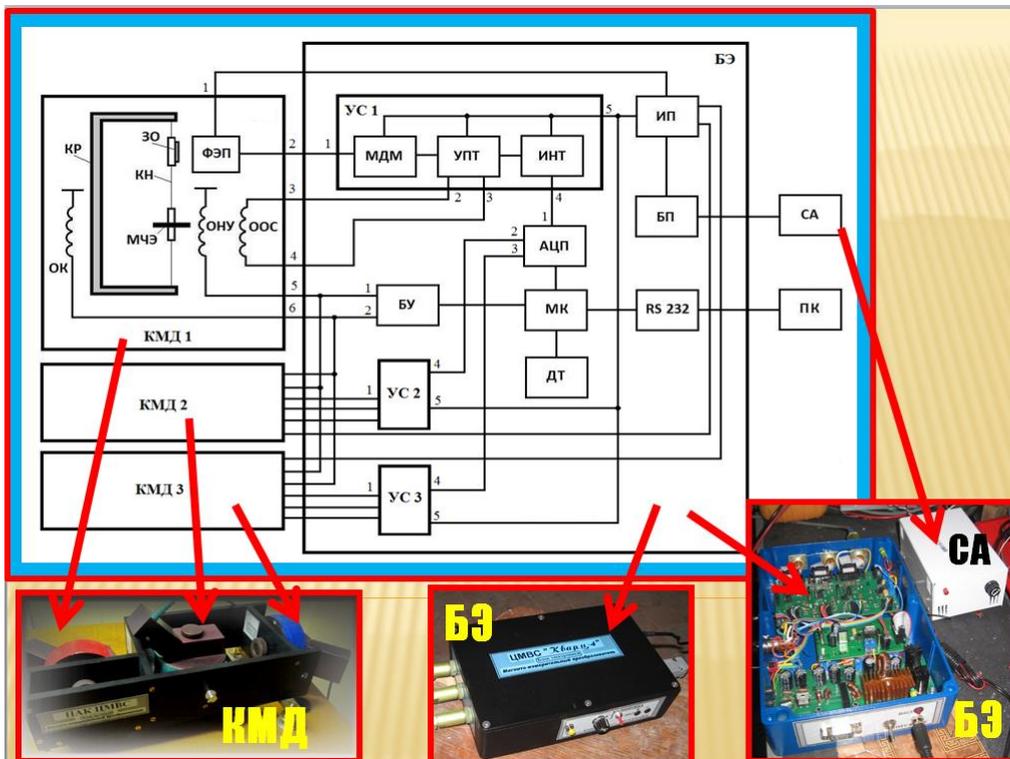


Рис.5. Функциональная схема основного варианта универсального БЭ для ЦМВС.

БЭ предназначен для управления работой всего прибора и включает в свой состав (см. *рис. 5*) следующие функциональные узлы и блоки:

- усилитель (УС) аналогового сигнала (три одинаковых ИК, - УС1...УС3), включающий в свой состав отдельные функциональные узлы и блоки: МДМ-усилителя (МДМ), усилителя постоянного тока (УПТ) и интегратора (ИНТ);
- трехканальный аналого-цифровой преобразователь (АЦП);
- микроконтроллер (МК) с отдельным подключенным каналом для измерения температуры окружающей среды - датчиком температуры (ДТ) типа LM35D, который может

быть выносным за пределы БЭ для контроля температуры КМД;

- блок управления (БУ);
- последовательный интерфейс RS232 для передачи данных и управления от ПК;
- блок питания (БП) с источником питания (ИП) для схемы ФЭП и электронных схем БЭ.

Конструктивно БЭ (см. *рис.4*), в отличие от всех ранее созданных ЦМВС, включает в себя (в одном корпусе) трехканальный усилитель (плата), схему управления режимами и калибровкой ИК (пульт управления), схемы АЦП и МК с ДТ (плата) и БП (плата).

Усилитель БЭ совместно с КМД представляет собой МИП, осуществляющий преобразование

МП, зафиксированное ИК (см. *рис.2*) в аналоговое напряжение (АВ) измерительного канала или (при помощи АЦП), - в цифровой код (ЦВ). Напряжение постоянного тока на АВ лежит в пределах $0... \pm 5$ В (как правило и практически во всех моделях БЭ используется для АЦП линейная часть преобразования в пределах $0... \pm 3$ В). С помощью ПО и схемы МК осуществляется автоматическая регулировка крутизны преобразования ИК «поле/напряжение» и устанавливается ширина динамического диапазона каждого ИК при помощи корректирующих коэффициентов преобразования (устанавливаемых на ПК). Поэтому, как было показано выше, - все каналы БЭ являются взаимозаменяемыми. При этом максимальная разрешающая способность каждого ИК (с учетом возможностей применяемого АЦП, созданного на основе микросхемы AD7734) выше, чем у всех известных конструкций ЦМВС [28] и достигает значения 0,001 нТл.

Линейность характеристики преобразователя «поле/напряжение», параметры АЦП и катушки ООС в КМД обеспечивают возможность устанавливать ширину динамического диапазона ИК БЭ до $5...6$ мкТл с предельной разрешающей способностью ИК, а также позволяют увеличить динамический диапазон каждого из ИК до 10 мкТл с разрешением не хуже 0,1 нТл.

Схема и конструкция трехканального усилительного тракта (УС1...УС3) построены таким образом, чтобы в процессе настройки каждого ИК была возможность изменения направления тока в катушках ООС и при калибровке КМД (ОК) спомощью перекоммутируемых переключателей-джамперов, установленных на плате УС. Это позволяет обеспечить как универсальность и взаимозаменяемость ИК, так и возможность работы БЭ с любым из созданных ранее разработок КМД и ФЭП.

Измеренная информация в цифровой форме из БЭ с помощью схемы МК передается по последовательному каналу связи RS232 в ПК. По этому же каналу осуществляются (при помощи ПК) связь с БУ в процессе проведения подготовительных и установочных работ КМД и их калибровки. ДТ, установленный и используемый в корпусе БЭ или вне его, - позволяет контролировать и регистрировать температуру окружающей среды с точностью $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

На боковой панели БЭ (см. *рис.5*) расположены органы управления для осуществления контроля и управлением работой прибора. На торцевых панелях БЭ установлены органы управления (переключатели) и разъемы (см. *рис.4*), предназначенные для подключения БКД и ПК при помощи соединительных кабелей.

Питание БЭ и всего прибора осуществляется от источника постоянного тока напряжением $9...15$ В. Предусмотрена возможность питание БЭ и от

сети переменного тока напряжением 220 В и с частотой 50 Гц при помощи стандартного СА. При этом потребляемая мощность составляет не более $2,7...3$ ВА.

Габаритные размеры корпуса (выполненного из немагнитного материала) основного варианта исполнения БЭ, - $240 \times 165 \times 56$ мм а масса не превышает $1,2...1,4$ кг. В отдельных разработках ЦМВС используются корпус БЭ размерами: $225(255) \times 145 \times 55$ мм.

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ БЛОК ДЛЯ ЦМВС: ВАРИАНТ ДЛЯ РЕДКО ОБСЛУЖИВАЕМЫХ ПУНКТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

В 2010 году была разработана новая концепция построения ЭБ для ЦМВС. Это было обусловлено необходимостью использования кварцевых станций не только в условиях МО, но и в условиях необслуживаемых или редко обслуживаемых (РО) пунктов наблюдений. Прибор должен работать в автономном автоматическом режиме в РО пунктах наблюдений в условиях больших изменений температуры окружающей среды, - $\pm 40^\circ\text{C}$.

Функциональная схема ЦМВС представлена на *рис.6* и состоит из двух основных узлов: БД и БЭ [15]. Основные элементы ИК (схемы КМД, УС и АЦП) в новой разработке остались без изменений. Отличие состоит в том, БЭ имеет возможность питания от трёх альтернативных источников, - СА, АБ и СБ, при этом напряжение источника постоянного тока может находиться в пределах от 7 до 40 В. Максимальный цикл оцифровки АЦП аналоговых данных по всем ИК увеличен и составляет 100 изм/с, при этом усреднённые значения регистрируются и накапливаются во встроенную внутреннюю (ВН) память (до 8 Мб) или внешнюю (ФН) память ($2...4$ Гб) с циклом 1 изм/с. Штатный режим работы ЦМВС предусматривает регистрацию вариаций составляющих ВМИ поля Земли с точностью 0,1 нТл в измерительном диапазоне $0... \pm 6$ мкТл, при этом 24-разрядный АЦП позволяет реализовать разрешающую способность станции до $1...10$ пТл в условиях с малым уровнем техногенных шумов и помех. Контроль температуры внутри БЭ (или вблизи КМД) реализован при помощи схемы МК и интегрального ДТ, который имеет точность измерения $\pm 0,1^\circ\text{C}$.

Управление всеми режимами работы и калибровкой КМД станции, а также передача данных, - осуществляется дистанционно автоматически при помощи МК, а также и каналов GPRS или BT, расположенных на плате накопителя данных (НД). Для синхронизации ЦМВС с мировым временем и для её позиционирования в пространстве используется встроенный приёмник GPS, основная схема которого расположена на плате НД (см. фото на *рис.6*). Для этого БЭ оборудован специальными выносными антеннами А1...А3.

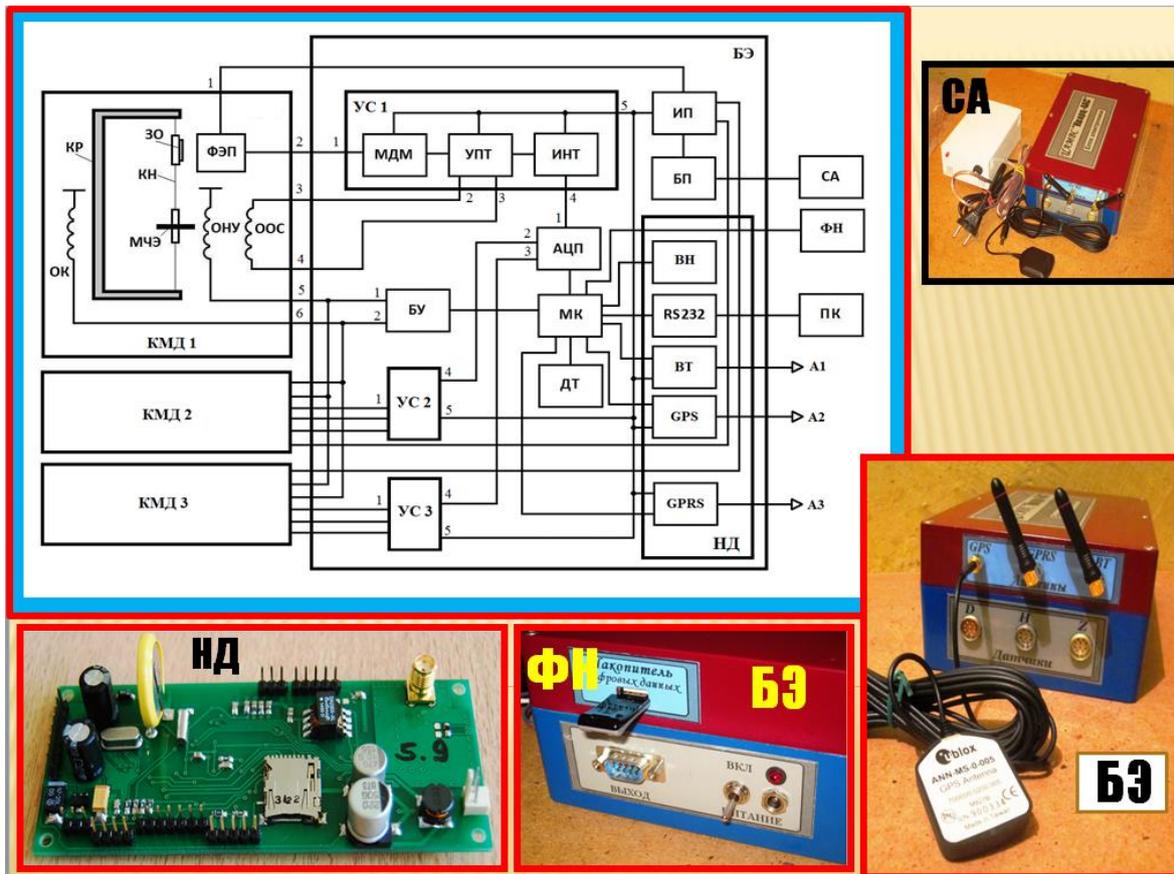


Рис.6. Функциональная схема БЗ (и фото) в составе ЦМВС для РО пунктов наблюдений, а также фото платы НД.

Блок НД представляет собой одноплатное устройство (4-я плата в составе БЗ) и предназначен для сбора, хранения и передачи данных в автоматическом режиме с возможностью дистанционного управления и включает в себя следующие функциональные узлы:

- два трёхпроводных последовательных порта с уровнями сигналов, соответствующими RS232;
- модуль *bluetooth* **BT** (опции дальности передачи данных: модуль 2 класса – до 30 м, модуль 1 класса – до 100...200 м, модуль 1 класса с выносной антенной – до 300...400 м);
- модуль **GSM** со встроенным слотом для установки сменной *sim*-карты;
- модуль **GPS**, оснащённый по выходу временным стробом;
- модуль накопителя на «флэшке» (**ФН**) объёмом до 4 Гб;
- часы реального времени с энергонезависимым питанием;
- буферная энергонезависимая память (**ВН**) объёмом 8 Мб.

Все схемы платы НД разработаны с предельными требованиями по энергосбережению с применением 3-вольтовой элементной базы. Максимальное потребление платы НД (в режиме передачи данных) составляет не более 150 мА, а потребление платы в режиме сбора и хранения данных составляет не более 20 мА. Общее (максимальное) потребление БЗ при использовании пассивных датчиков в режиме

дистанционного управления работой и передачи данных составляет не более 200...230 мА.

Схема и конструкция БЗ разработана с учётом предельных требований по минимизации энергопотребления, при этом максимально возможное её потребление от постоянного источника напряжением 12 В составляет не более 2,5...3 Вт. БЗ выполнен в герметичном немагнитном влагозащитном корпусе (класс защиты IP65) размером 240 x 165 x 86 мм.

В работе с созданным БЗ могут использоваться различные геофизические и физические датчики, как с аналоговым выходом, так и цифровые, - работающие по протоколу последовательного порта (RS232). Такими датчиками могут быть, например, интегральные или аналоговые ДТ, МИП созданные на базе феррозондовых датчиков (**ФД**), датчики для измерения вертикальной и горизонтальных компонент электрического поля (**ДЭП**), индукционные магнитные датчики (**ИД**), а также различные аналоговые или цифровые датчики индикации прогноза погоды (давление, влажность и проч.).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Конструкции созданных универсальных ЭБ являются в настоящее время основным элементом для разработки и построения современных кварцевых ЦМВС. Созданные на его основе МИП имеют возможность применения различных

конструкций аналоговых фотоэлектрических преобразователей, - в том числе созданных ранее.

В процессе проведенных работ в институте на базе разработанных различных вариантов БЭ созданы различные варианты ЦМВС на основе КМД и других приборов [13-32].

Варианты построения схемы ЭБ используют современные технические и технологические решения, связанные преобразованием аналогового сигнала от датчиков в цифру, с регистрацией и передачей измеренных накопленных данных различными способами.

Построенные на основе блоков электроники современные кварцевые станции предназначены для проведения геомагнитных работ в различных условиях, - как в обсерваториях и стационарных пунктах наблюдений, так и для работы на РО пунктах наблюдений и в полевых исследованиях.

Литература

1. Бурцев Ю.А., Мансуров С.М., Тимофеев Г.А. Автономная вариационная станция для геомагнитных исследований в Антарктиде // Геомагнитное приборостроение. М.: Наука, 1977. С.60-64.

2. Бобров В.Н., Гайдаш С.П., Куликов Н.Д. Двухкомпонентная морская магнитная вариационная станция // Фундаментальные проблемы электромагнитных исследований в океанах. М.: ИЗМИРАН, 1979. С.45-50.

3. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-2. Проспект СКБ ФП. М.: НТО АН СССР, 1982. - 2 с.

4. Цифровая магнитовариационная станция ЦМВС-6. Проспект СКБ ФП Института общей физики АН СССР, 1987. - 2 с.

5. Бурцев Ю.А. Магнитовариационная станция Кварц-3Е в международных исследованиях // Сборник «Материалы международной школы-семинара по компьютерной автоматизации и информатизации». М.: МГУ, 2000. С.89-91.

6. 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, 2001. - 52 с.

7. Трёхкомпонентная цифровая магнитовариационная станция МВС. Руководство по эксплуатации. Троицк: ИЗМИРАН, 2006. - 14 с.

8. Бобров В.Н., Любимов В.В. Цифровая магнитовариационная станция // Датчики и Системы / Новые приборы. М.: «ООО СенСиДат», 2005. №.2. С.40-42.

9. Белов Б.А., Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровые кварцевые магнитовариационные станции // Экономика и производство. / Технологии, оборудование, материалы / Журнал организаторов производства.

М., 2005. №.4. С.73-77. DOI: 10.5281/zenodo.6787250

10. Бурцев Ю.А., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитовариационная станция «КВАРЦ-4» // Датчики и Системы / Новые приборы. М.: «ООО СенСиДат», 2006. №.1. С.45-48.

11. Трёхкомпонентная цифровая магнитовариационная станция МВС. Руководство по эксплуатации. Троицк: ИЗМИРАН, 2006. - 14 с.

12. 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», 2006. №.5 С.37-40.

13. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитная обсерватория // Приборы. М., 2009. №12. С.10-13.

14. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитная обсерватория: опыт построения и варианты // Найновите постижения на Европейската наука-2011 / Материали за VII Международна научна практична конференция 17-25 юни 2011/ Физика. Том 36. София «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2011. С.37-46. DOI: 10.5281/zenodo.3724599

15. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровая магнитовариационная автоматическая станция // Dynamika naukowych badan – 2012 / Materialy VIII Miedzynarodowej naukowo-praktycznej konferencji 07 – 15 lipca 2012/ Fizyka. Vol.22, Przemysl. 2012. S.31-35. DOI: 10.5281/zenodo.4776973

16. Любимов В.В. Универсальная цифровая магнитовариационная станция на базе кварцевых магнитных датчиков для работы в широком диапазоне полей // Бъдещето въпроси от света на науката – 2015/Материали за XI Международна научна практична конференция 17-22 декември 2015/ Физика. Том 18. София «Бял ГРАД-БГ» ООД, 2015. С.27-36. DOI: 10.5281/zenodo.3605411

17 Любимов В.В. Станция трёхкомпонентная магнитовариационная // Приборы. М., 2016. №12. С.1-4.

18. Любимов В.В. Магнитовариационная станция для геофизических исследований // Геофизический вестник / Евро-Азиатское геофизическое общество, М.: «ПОЛИПРЕСС», 2016, №6. С.9-12. DOI: 10.5281/zenodo.2567489

19. Любимов В.В. Новые приборы для геомагнитных исследований: магнитовариационная станция // Уральский научный вестник. Уралск: ТОО Уралнаучкнига, 2016. Т. 10. С. 28-32. DOI: 10.5281/zenodo.3588550

20. Любимов В.В. Универсальная цифровая магнитовариационная станция на базе кварцевых магнитных датчиков для работы в широком диапазоне полей // Приднепровский научный вестник. Днепропетровск: «Наука и образование», 2016. Т. 9. С.95-105. DOI: 10.5281/zenodo.5593499

21. Любимов В.В. Новые приборы для геомагнитных исследований: магнитовариационная станция // Nauka I studia

/Fizyka. Przemysl. 2016. NR 24-6 (160). S.28-33. DOI: 10.5281/zenodo.3724923

22. Любимов В.В. Высокостабильный магнитный измерительный преобразователь на основе кварцевых датчиков для цифровых геомагнитных обсерваторий различных широт // Nauka I studia. Przemysl. 2016. Vol.10. S.400-413. DOI: 10.5281/zenodo.5593592

23. Любимов В.В. Цифровой магнитоизмерительный преобразователь на основе кварцевого магнитного датчика и миниатюрного фотоэлектрического преобразователя линейных и угловых перемещений // Nauka I studia. Przemysl. 2016. Vol.11. S.82-94 DOI: 10.5281/zenodo.5171931

24. Любимов В.В. Магнитоизмерительный преобразователь на основе кварцевых датчиков // INTERNATIONAL SCIENCE PROJECT, Turku, Finland, 2018. 1 часть №21. С.13-20. DOI: 10.5281/zenodo.2566013

25. Любимов В.В. Магнитоизмерительный преобразователь для цифровых вариационных станций // Приборы, М., 2019. №8. С.11-16.

26. Любимов В.В. Двухкомпонентный кварцевый вариометр // Евразийское научное объединение. М., 2019. №12 (58). С.50-53. DOI: 10.5281/zenodo.3603859

27. Любимов В.В. К 80-летию ИЗМИРАН: цифровые кварцевые магнитовариационные

станции (история их создания и применения) // Евразийское научное объединение. М., 2020 №4 (62). С.480-493. DOI: 10.5281/zenodo.3818532

28. Любимов В.В. Кварцевые датчики магнитного поля, магнитовариационные станции и приборы на их основе (Библиография) // Евразийское научное объединение. М., 2020 №5 (63). С.130-144. DOI: 10.5281/zenodo.3888083

29. Любимов В.В. Трёхкомпонентный кварцевый магнитометр // Евразийское научное объединение. М., 2020 №12 (70). С.100-104. DOI: 10.5281/zenodo.4430324

30. Любимов В.В. Магнитовариационная станция // Приборы, М., 2021 №12 (258). С.9-13.

31. 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.2022.Vol.1, No.1.Pp.14-16. DOI: 10.5281/zenodo.6077888

32. Lyubimov V.V. Magnetometros basados en sensores de cuarzo (Magnetometers based on quartz sensors) // Materials of the foreign international scientific conference "Trends in the development of science and global challenges" (October 16, 2022, Nicaragua, Managua) / Technical sciences. HNRI "National development", 2022. P.30-41. DOI: 10.37539/MAN4.2022.17.41.003