

Обзор по магнитометрам, созданным в ИЗМИРАН. Часть 3: приборы для медико-биологических исследований и электромагнитного мониторинга окружающей среды

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

DOI: 10.5281/zenodo.3271160

ВВЕДЕНИЕ

Известно [1], что крупнейшими источниками электромагнитных излучений (ЭМИ) являются радио- и телевизионные средства связи и информации, радиолокационные и навигационные средства, лазерные системы, воздушные линии электропередач. Общество вправе знать ответ на вопросы: *"В какой мере человек в условиях техногенных электромагнитных полей (ЭМП) осведомлен об их наличии и опасности их воздействия?"* и *"Обладают ли естественные геофизические поля биотропными для человеческого организма параметрами?"*

Анализ научных публикаций, посвященных описанию результатов исследований биологического действия ЭМП на органы и системы живого организма, показывает [1, 2] на наличие чувствительности к воздействиям ЭМП практически всех основных физиологических систем, которые обеспечивают оптимальное его функционирование и взаимодействие с окружающей средой. Известно, что ЭМП может влиять на организм как на уровне физико-химических условий протекания ферментных реакций в клетках, так и являться «стрессорным» механизмом, воздействующим на его регуляторные системы [3]. С появлением результатов, свидетельствующих о влиянии ЭМП на здоровье человека, не утихает полемика «о достоверности их получения». Основным поводом для таких сомнений является не столько отсутствие четких представлений о механизмах действия ЭМП, сколько то, что в большинстве своем исследователи используют достаточно разрозненные показатели величины его экспозиции и различный инструментарий. То есть отсутствует как общий подход в применении экспозиционных доз воздействия ЭМП при проведении экспериментов, так и необходимые для проведения этих экспериментов средства измерений и контроля (в том числе и стандартизированные) ЭМП.

Мобильные телефоны (МТ) основательно вошли в жизнь современного человека, сейчас мало кто представляет себе жизнь без МТ. Для многих это не только средство общения, но, и средство развлечения, а также получения разнообразной информации. Сейчас уже трудно представить жизнь без мобильной связи, однако люди должны понимать какие неблагоприятные последствия для здоровья может иметь использование сотовой связи вследствие ЭМИ. Доказано, что при использовании МТ человек добровольно подвергает электромагнитному облучению свой головной мозг, а также находящиеся во внутреннем ухе сложные нервные образования, обеспечивающие нормальную деятельность слухового и

вестибулярного анализаторов, а также сетчатку глаза. ЭМП базовых телефонных станций принудительно и круглосуточно подвергают облучению все население, осуществляют тотальное облучение всего тела человека.

То же самое можно сказать и о вошедшей в настоящее время в нашу жизнь проблеме ЭМИ в «**умном доме**». Как бы такого рода проекты не расхваливали его идеологи-создатели и строители, - эти дома «нашпигованы» всякого типа аппаратурой включающей в себя излучатели ЭМП, управляющие работой различных домашних устройств и использующие ЭМИ для управления домашними агрегатами. Поэтому наряду с так называемым «удобством жизни» проживание в таких домах является в значительной степени *биотропным* фактором для каждого человека.

Мониторинг окружающей среды при помощи специальных приборов позволяет точно знать о наличии и расположении вредных искусственно создаваемых ЭМИ и степени их биотропного влияния на организм человека [1, 4-6].

На протяжении многих лет различными коллективами сотрудников ИЗМИРАН ведётся активная работа по созданию новых современных геофизических приборов для решения научных и специальных задач [7-12]. Одним из новых в последние годы направлений деятельности в институте является создание современной аппаратуры для электромагнитного мониторинга (ЭММ) окружающей среды, а также проведение экологических исследований с применением приборов собственной разработки на основе различных физических датчиков. В настоящем обзоре, который написан на основе опубликованных работ сотрудников ИЗМИРАН [1-38], - отражены основные итоги и результаты деятельности в течение последних 25 лет авторов-создателей уникальных научных приборов для обнаружения и фиксации ЭМП.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГОВЫХ РАБОТ

В начале 90-х годов был создан инструментарий, который позволял с высокой точностью контролировать процесс создания и параметры ЭМП в моменты проведения медико-биологических исследований, который мог использоваться при паспортизации компьютерных рабочих мест, а также позволявший проводить ЭММ окружающей среды в помещениях, где проводились исследования [4-6, 9-12]. В результате появилась реальная возможность к систематизации и идентификации проводимых исследований, а также решению вопросов электромагнитной совме-

стимости результатов этих исследований, их воспроизводимости и нормирования действия ЭМП на человека.

На протяжении последних лет в ИЗМИРАН постоянно ведутся работы по созданию научных приборов, которые предназначены для исследования ЭМП. Это направление работ стало в институте традиционным. Созданы опытные и серийные образцы уникальных высокоточных приборов (магнитометров и электрометров) для проведения ЭММ, экологических и научных исследований, в том числе для исследования естественных ЭМП, которые значительно отличаются от всех других известных разработок аналогичных приборов [9-20]. При этом использовались датчики различных типов и конструкций, в том числе и собственной разработки. В практику магнитометрического приборостроения было введено новое понятие и направление, связанное с практической медициной и магнитобиологическими исследованиями, — *диагностические магнитометры (ДМ)*.

В результате проведённых исследований и экспериментальных работ в ИЗМИРАН были созданы опытные образцы ДМ на базе однокомпонентного феррозондового датчика (ФД). Основными преимуществами и достоинствами этих приборов были: экономичность, небольшие размеры и вес, а также сравнительно низкая стоимость [9, 11]. При этом точность измерения магнитного поля (МП) этими ДМ была на уровне 1 нТл и выше, при собственных шумах применяемых ФД не более 0,1...0,3 нТл [11]. Впервые в практике феррозондового приборостроения в ДМ было применено максимально близкое расположение плат с радиокомпонентами от ФД.

При создании различных вариантов ДМ особое внимание разработчиков было направлено на оптимизацию и компактность всех узлов электрической схемы и конструкции приборов, на технологичность изготовления, минимизацию числа используемых радиокомпонентов, на простоту и надёжность в эксплуатации. Эти ДМ являлись компонентными приборами и могли использоваться для измерения вариаций модуля вектора магнитной индукции (ВМИ) поля Земли и его составляющих, для исследования ЭМП, создаваемых искусственными источниками, для систем, служащих для привязки и ориентации объектов по МП, для проведения мониторинговых работ в локальных помещениях. Малогабаритные переносные приборы могут работать в помещениях любого типа и размера, что позволяет проводить специальные исследования электромагнитной обстановки в трудно доступных местах, а также ЭММ окружающей среды в условиях больниц и клиник, в курортных зонах, в производственных и жилых помещениях, в условиях промышленного города с большим уровнем техногенных шумов и помех [9, 12, 14, 27].

Ниже приведены примеры созданных в ИЗМИРАН серийных и опытных образцов ДМ и многоцелевых магнитометров (ММ) для различного применения. Общий вид конструкции двух моделей ДМ и используемых в них ФД показан на *рис.1*. На этом же рисунке представлен фрагмент реальных зарегистрированных ДМ (ДМ-01) естественных ва-

риаций одной из составляющих ВМИ поля Земли в течение трёх суток, когда этот прибор был установлен в одном из исследуемых производственных помещений [31]. На показанной магнитограмме видно, что записи вариаций естественного МП в этом помещении «осложнены» зарегистрированными ДМ техногенными ЭМП и ЭМИ.

Диагностические магнитометры

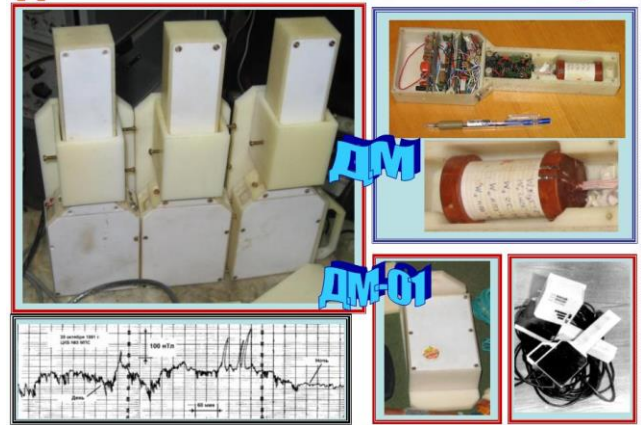


Рис.1. Общий вид диагностических магнитометров ДМ и ДМ-01, созданных на основе ФД и фрагмент трёхсуточной записи МП зарегистрированного при проведении методических работ с помощью ДМ в условиях помещения.

К концу 1992 г. было создано шесть серийно пригодных модификаций ДМ и ММ для различного применения, предназначенных для применения их как в геофизике, так и в медицине, соответственно: ДМ, ДМ-01, МФ-01, МФ-02 и МФ-03 MAGIC, MAGIC МФ-03-М. Основные технические характеристики этих приборов представлены в работах [7, 9-11, 12, 15].

Магнитометры МФ-02, МФ-03 и МФ-03-М предназначены для решения целого ряда научных и прикладных задач, - как в геофизике, так и при проведении специальных работ. Например, разработанный малогабаритный цифровой компонентный магнитометр MAGIC МФ-03-М [23] вошёл в перечень рекомендуемых в рамках ГОСТ Р 51724-2001 средств измерений интенсивности геомагнитного и гипогеомагнитного полей. На основе хорошо зарекомендовавших себя (при проведении сотрудниками ИЗМИРАН научно-исследовательских, метрологических и специальных работ) феррозондовых магнитометров серии МФ-03 «МАГИК» [14-17], в период с 2004 по 2007 году были созданы две новые модели малогабаритных цифровых регистрирующих магнитометров под названием «MF-03-R» и «MF-03-R» модель «М» [15-18, 24, 25]. Эти магнитометры имели высокую чувствительность (0,1 нТл), широкий (до ± 100 мкТл) динамический диапазон измерения, а также малые габариты и вес, были очень экономичными (потребление от источника постоянного тока, например, у «MF-03-R» модель «М» составило не более 0,05 Вт). Это позволяло использовать их для проведения различных научных исследований и использовать при проведении экспедиционных работ в различных условиях и средах [27, 37, 38]. Общий вид ММ показан на *рис.2*. Основные технические и экс-

платационные характеристики приборов представлены в работах [24, 25].

Многоцелевые магнитометры



Рис.2. Общий вид различных вариантов многоцелевых магнитометров.

Для практического применения в области медицины и магнитобиологии сотрудниками ИЗМИРАН созданы индикаторы магнитной бури (ИМБ), которые были предназначены для использования при проведении научно-исследовательских работ и для установки в клиниках. В период с 1994 по 2004 гг. было создано три модели ИМБ: МФ-01, МФ-04 и МФ-05 [9, 11, 21], которые позволяют определять и визуализировать амплитуду магнитной бури (МБ) в любом районе Земного шара в реальном масштабе времени. Применение ИМБ помогает современной практической медицине в оказании своевременной помощи людям, подверженным повышенной чувствительности к изменениям интенсивности МБ [3, 15, 16, 21, 27], оперативно отслеживая возмущенность МП в реальном времени и в местах их установки. Это особенно важно в медицинских учреждениях отдаленных мест и в сельской местности, где нет возможности получать геофизическую информацию по сетям интернета. Общий вид некоторых ИМБ показан на рис.3, а их основные технические характеристики представлены в работах [5, 9, 11, 21].



Рис.3. Общий вид различных вариантов ИМБ, предназначенных для работы в условиях помещений и для медицинских учреждений (из публикации [37]).

Простое конструкторское решение магнитоизмерительного преобразователя (МИП) и магниточувствительных датчиков (МЧД) созданных однокомпо-

нентных ДМ и ИМБ позволило успешно использовать их для измерения не только магнитного склонения D , но и, в комплекте со специально изготовленными оригинальными немагнитными поворотными устройствами различных конструкций, измерять различные составляющие ВМИ поля Земли. Уменьшение габаритно-весовых характеристик МИП и МЧД ДМ позволило резко расширить область их использования, особенно в тех местах, где ранее не удавалось применять магнитометры других типов, - в условиях города с большим уровнем техногенных помех и большими локальными и пространственными градиентами МП [4-6, 11, 12, 14, 16].

Регистраторы магнитной активности (РМА) явили собой следующий важный шаг по развитию идеологии построения ДМ и ИМБ [22]. Прогресс технологии, выразившийся в стремительном развитии микропроцессоров и в появлении недорогой элементной базы, позволил успешно решать вопросы, связанные с визуально-качественной формой представления получаемой информации связанной с проблемами экологии человека в местах его обитания. Наряду с магнитометрической информацией такие приборы позволяют проводить многопараметрические мониторинговые работы по исследованию окружающей среды, более эффективно визуализировать происходящие процессы при проведении магнитобиологических исследований.

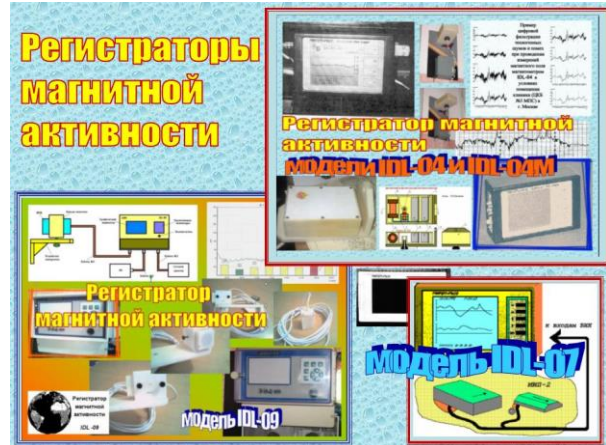


Рис.4. Общий вид созданных различных моделей регистраторов магнитной активности (рисунок взят из публикации [37]).

В период с 1996 по 2006 гг. совместно с Научно-производственной фирмой «IMPEDANCE» было создано несколько моделей РМА на базе ФД, основными из которых были: IDL-04, IDL-04M, IDL-07 и IDL-09 [13, 17-19, 22]. Общий вид некоторых моделей РМА показан на рис.4, а подробные технические характеристики представлены в работе [22]. Все созданные ДМ, ИМБ и РМА являются экономичными, оптимизированными и компактными по конструкции. Они имеют небольшие размеры и вес, что позволяет эффективно использовать эти приборы в различных случаях: на подвижном носителе, в помещениях различного типа, в клиниках, в условиях города, в обычных жилых и гипогеомагнитных помещениях, в обсерваториях, в кунгах и в полевых условиях [5, 31, 34].

ПРИБОРЫ ДЛЯ РАЗЛИЧНОГО ПРИМЕНЕНИЯ

В период с 1999 по 2001 гг. разработаны и изготовлены приборы, позволяющие одновременно измерять как постоянную составляющую МП, так и ее переменную часть. Основной упор здесь был сделан на создание приборов, позволяющих проводить измерения с высокой точностью (и с помощью только одного датчика МП) как вариаций естественного переменного МП до частот порядка 20...100 Гц, так и ЭМП искусственного происхождения, проводить их спектральный анализ, получать результаты этого анализа в реальном времени. Было создано несколько моделей различных компонентных приборов, позволяющих проводить исследования ЭМП как в полевых, так и в лабораторных условиях.

Диагностический магнитометр - ИМБ MAGIC MF-01M, - был новой, модификацией ранее созданного аналогового ИМБ типа MF-01 [11, 12, 17]. Отличительными особенностями модели MF-01M являются: наличие встроенного в МИП дополнительного канала измерения переменных МП (в частотном диапазоне от 0 до 300...500 Гц) и цифрового вольтметра. ИМБ был оснащён аналоговыми (световым и звуковым) индикаторами и имел цифровой 3,5-разрядный дисплей. Это позволяло по основному измерительному каналу визуализировать процесс измерения постоянного МП в цифровой форме с фиксацией (в том числе и при помощи подачи звукового сигнала) его максимального значения. Отсчетная точность по цифровому каналу - 1 нТл. Наличие аналоговых выходов у обоих измерительных каналов позволяет осуществлять одновременную фиксацию и спектральный анализ изменения естественного постоянного и переменного МП в реальном времени при помощи персонального компьютера (ПК).

Анализатор МП IDL-07M предназначен для проведения ЭММ окружающей среды, для контроля МП в месте проведения медицинских и магнитобиологических исследований [26, 27]. Прибор позволяет проводить измерения постоянного МП в пяти измерительных диапазонах ($\pm 0,02$; 0,2; 2; 20 и 100 мкТл) с одновременной регистрацией и спектральным анализом переменных МП в частотном диапазоне от 0 до 300 Гц. Оригинальное программное обеспечение реализует в процессе измерения цифровую фильтрацию и накопление получаемых в реальном времени данных, что позволяет визуализировать результаты измерения и анализа (спектр переменного МП) на дисплее ПК.

Анализатор магнитного поля MAGIC MH-06M [26], - это простой, компактный, носимый прибор со встроенным датчиком МП (датчик Холла), который имеет размеры корпуса 160 x 65 x 25 мм (масса не более 150 г). Основное назначение MH-06M — это проведение ЭММ окружающей среды, рабочих мест, а также обнаружение источников искусственных ЭМП и ЭМИ в частотном диапазоне от 0 до 200 кГц. Максимально возможное измеренное МП - не более 200 мкТл, при этом отсчетная точность по цифровому табло - 0,1 мкТл. Прибор имеет аналоговые выходы по обоим измерительным каналам, позволяющие при проведении работ в помещениях подключать их к ПК или к входу стандартного анализатора спектра. Общий вид некоторых моделей ре-

гистраторов ЭМП показан на *рис.5*. Основные технические характеристики приборов можно посмотреть в работах [26, 27].



Рис.5. Общий вид созданных в разные годы некоторых моделей анализаторов ЭМП и фрагменты записи естественного электрического поля при помощи электрометров.

В период с 2013 по 2016 гг. в ИЗМИРАН велись работы по созданию компактных приборов для измерения естественных электрических полей (ЭП), датчики которых должны работать в любых условиях окружающей среды, в том числе и в условиях помещения. В процессе этих работ и исследований создана модель *электрометрического вариометра* (электрометра), предназначенного для измерения вариаций напряженности вертикальной составляющей (E_z) ЭП атмосферы [28]. В комплект прибора входят: выносной датчик (фото различных вариантов датчика электрометра показаны на *рис.5*), блок электроники (БЭ), соединительный кабель и регистратор, в качестве которого используется ПК. Прибор предназначен для длительной непрерывной работы (при любой погоде) как в полевых условиях, так и в условиях обсерватории с установкой датчика на постаменте или на специальной подставке вне помещения [29]. Прибор может эксплуатироваться в экспедиционных условиях при проведении комплексных геофизических измерений, может применяться медицинскими и прогностическими центрами для научных исследований, а также организациями, занимающимися исследованием, ЭММ и контролем электромагнитной экологии окружающей среды в условиях города.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ГИПОГЕОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

В настоящее время все больший интерес вызывает проблема здоровья и защиты людей, по роду своей работы или деятельности длительное время находящихся в экранирующих естественные ЭМП герметически закрытых тонко и толстостенных помещениях (например, в самолетах, в космических аппаратах, в морских судах, в закрытой военной технике, в подземных сооружениях, в метро и т.д.). При этом на организм человека воздействует *"гипогеомагнитное поле"* (ГГМП), - ослабленное геомагнитное поле, - это МП внутри обычного или экранированного помещения, которое определяется суперпозицией МП, создаваемых ослабленным

геомагнитным полем, полем от ферромагнитных частей конструкции помещения, полем постоянного тока, протекающего по шинам, отдельным частям конструкции или внутри нее.

Длительное воздействие ГГМП на человека приводит к снижению его работоспособности, негативному действию на его здоровье. Такие поля являются биологически активным фактором, вызывающим ряд изменений на физиологическом, биохимическом и морфологическом уровнях функционирования организма. Поэтому был разработан ГОСТ Р 51724-2001, регламентирующий, на основании СанПиН Р2.2.755-99 и других нормативных документов, контроль условий труда при работе в условиях ГГМП.

Для контроля параметров, регламентирующих этим ГОСТом в ИЗМИРАН создан магнитометрический прибор [23], позволяющий реализовать контроль всех основных и дополнительных параметров ГГМП. С помощью такого прибора можно проводить электромагнитный мониторинг производственных и жилых помещений их сертификацию, картирование, осуществлять контроль уровня электромагнитной обстановки в электронной промышленности, на рабочих местах, на транспорте, в локальных и гипомагнитных помещениях.

В 1990 г. в ИЗМИРАН начались первые попытки по созданию инструментария, способного проводить работы по исследованию МП в локальных помещениях. Было разработано и изготовлено несколько вариантов различных магнитометров удовлетворяющих требованиям ГОСТ 8.326-89, которые прошли апробацию в различных научных экспедициях и исследовательских центрах. В результате этих работ был создан новый магнитометр - "ГИПОМАГ" [30], который является аппаратной реализацией контролера параметров, регламентированных в ГОСТ Р 51724-2001, позволяющий реализовать контроль всех основных и дополнительных параметров ГГМП. Прибор является 3-х компонентным векторным магнитометром, выполненным на базе датчика Холла и предназначенным для исследования ГГМП в помещениях любого типа и размера в диапазоне от 0,2 до 200 мкТл, для фиксации вредных ЭМИ искусственного происхождения в частотном диапазоне от 0 до 100 кГц. "ГИПОМАГ" выполнен как компактный переносной прибор размером 140 x 70 x 30 мм, вес которого с источником питания (батарея типа 6R22) не превышает 250 г.

Прибор может применяться для общеобразовательных целей в школах.

ПРИБОРЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ГРАДИЕНТА МП

Основными показателями ГГМП являются: напряженность вектора постоянного МП внутри помещения, угол наклона этого вектора внутри помещения и градиент напряженности МП между двумя точками в пространстве внутри помещения. Для исследования пространственного градиента МП в период с 1993 по 2010 гг. в ИЗМИРАН было создано несколько моделей переносных и стационарных магнитометров-градиентометров MAGIC MF-03G, IGF-01, GF-02 и КГ на основе разного типа

МЧД с различными размерами «измерительной базы» и для различного применения. Некоторые из этих разработок описаны ниже.

Переносной магнитометр-градиентометр модель GF-02 [18] предназначен для исследования пространственного градиента МП в процессе проведения научных исследований, а также для проведения поисковых и мониторинговых работ. GF-02 измеряет линейный пространственный градиент МП в заданном направлении в единицах магнитной индукции отнесенных к величине «измерительной базы» (нТл/м). GF-02 может использоваться для измерения горизонтального градиента (ГГ) и вертикального градиента (ВГ) МП (и их вариаций) на одной измерительной точке в статике в течение продолжительного времени. Прибор может использоваться для проведения измерений ГГ и ВГ в движении в режиме реального времени. Прибор может быть использован в режиме «магнитных весов» для определения намагниченности различных материалов и минералов, для проведения испытаний на *немагнитность* различных предметов и помещений. Общий вид прибора показан на *рис.6*.

Прибор создан на базе миниатюрных ФД и имеет «измерительную базу» длиной 1 м, а также три измерительных диапазона: ± 1 , ± 10 и ± 100 мкТл. Отсчетная точность во всех измерительных диапазонах равна ± 1 нТл. Питание GF-02 осуществляется от аккумуляторной батареи постоянным током напряжением в пределах от 9 до 12 В или от батарейки типа 6F22. Масса прибора в походном варианте – не более 1,2 кг.



Рис.6. Общий вид созданных в разные годы различных моделей магнитометров-градиентометров для различного применения.

Магнитометр феррозондовый двухканальный IDL-12 является малогабаритным высокочувствительным компонентным магнитометром [18], предназначенным для одновременного измерения в реальном времени, регистрации и представления данных измерений вариаций двух (любых) составляющей ВМИ поля Земли, а также для исследования ЭМП, создаваемых искусственными источниками. Магнитометр IDL-12 (см. *рис.6*) выполнен в виде лабораторного прибора. Он состоит из следующих основных блоков, - блока измерения и двух одинаковых МИП, которые соединены с БЭ при

помощи кабелей длиной 1,5...2 м. МИП выполнен на основе однокомпонентного ФД, который имеет измерительный диапазон равный ± 100 мкТл. Цикл автоматических измерений прибора лежит в пределах от 0,1 до 60 с и устанавливается программно. Передача измеренных данных осуществляется в ПК. Мощность потребления от источника постоянного тока не более 1,5 Вт. Габаритные размеры МИП - 20 x 20 x 63 мм, БЭ - 100 x 100 x 50 мм. Общий вес прибора составляет 0,6 кг.

Основное назначение прибора – проведение научных исследований при работе в магнитной камере или экранированном помещении. Магнитометр IDL-12 может использоваться в помещениях любого типа и размера, в условиях обсерватории, в полевых условиях и в качестве автономной станции. Прибор может использоваться для оценки интенсивности МБ в реальном масштабе времени, может использоваться для контроля электромагнитной обстановки лечебными учреждениями и медицинскими центрами диагностики, может быть использован для определения величины и местонахождения "вредных" ЭМИ искусственного происхождения, оказывающих воздействие на человека на его рабочем месте.

Двухкомпонентный кварцевый градиентометр (КГ) [18] является высокочувствительным и высокоточным магнитометрическим инструментом, выполненным на основе кварцевых магнитных датчиков (КМД). КГ предназначен для проведения научных исследований и выполнен в виде лабораторного настольного прибора. Он состоит из следующих основных устройств: блока датчиков (БД) и БЭ, соединенных между собой при помощи кабелей длиной 6 м. БД включает в себя два *кварцевых астатических градиентометра* (КАГ) ΔZ и ΔH . Каждый КАГ состоит из кварцевого КМД с калибровочными катушками, фотопреобразователями и элементами точной настройки на МП в точке измерений, а также элементов юстировки. Оба КАГ конструктивно (при одинаковой длине "*измерительной базы*" равной 100 мм) отличаются друг от друга направлением подвески КМД на кварцевой нити. БЭ предназначен для управления работой прибора. Совместно с КАГ он осуществляет преобразование градиента МП, зафиксированного на "*измерительной базе*", в

напряжение по каждому из измерительных каналов КАГ. Динамический диапазон измерения градиента МП по каждой из составляющих ΔX (или ΔY), ΔZ равен ± 250 нТл. Питание прибора осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В и частотой 50 Гц, при этом потребляемая мощность составляет не более 5 ВА. Масса всех отдельных блоков и кабелей, входящих в состав прибора не превышает 5 кг.

Прибор может использоваться в качестве высокоточного двухкомпонентного регистратора градиента МП и его вариаций по заданным координатам на жесткой измерительной базе, применяться в качестве обсерваторского прибора с возможностью последующей передачи данных при помощи АЦП в ПК, использоваться в качестве магнитных весов, для проверки материалов *на немагнитность*. Прибор предназначен для длительной непрерывной работы в помещениях любого типа и размера, в условиях магнитной камеры с установкой датчиков на немагнитной постаменте или специальной немагнитной подставке. Максимальный градиент МП в месте установки КМД при проведении работ должен быть не более 5...10 нТл/м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опытные и серийные образцы магнитометров и вариометров прошли длительные испытания в различных экспедициях, клинические испытания и периоды длительной апробации в некоторых медицинских центрах (имеется несколько положительных отзывов), в настоящее время применяются для проведения исследований на некоторых прогностических полигонах в России и за рубежом.

В качестве наглядных примеров использования представленных в обзоре приборов можно привести работы (на основе известных публикаций), которые проводились в клиниках городов: Москвы [3, 31-34], Кисловодска [31, 32] и Надыма [37], на территории Крыма [32, 36], в условиях Антарктиды [33, 35], а также работы связанные с исследованием ЭМП и ЭМИ при организации рабочих мест и пунктов наблюдений на территории обсерваторий [17, 38] и в других случаях.

Всего за период времени с 1990 по 2014 г. было изготовлено в условиях ИЗМИРАН порядка 70 магнитометров различного применения и конструкций.

Литература:

1. Любимов В.В. Биотропность естественных и искусственно созданных электромагнитных полей. *Препринт* №7 (1103) М.: ИЗМИРАН, 1997. - 85 с.
2. Любимов В.В., Рагульская М.В. Электромагнитные поля, их биотропность и нормы экологической безопасности // *Успехи современной радиофизики*. М., 2004. №.3. С.49–60.
3. Гурфинкель Ю.И., Любимов В.В., Ораевский В.Н., Парфёнова Л.М. Геомагнитный мониторинг: эксперименты и перспективы в биологии и медицине // *Biophotonics, Bioinform services co., Russia Moscow*, 1995. С. 473-477.
4. Любимов В.В. Электромагнитная погода и мониторинг окружающей среды: Опыт исследования и визуализации электромагнитной обстановки в производственных и жилых помещениях // Четвертый Международный Пущинский симпозиум "Корреляции биологических и физико-химических процессов с космическими и гелио-геофизическими факторами", посвященный 100-летию со дня рождения основателя гелиобиологии А.Л.Чижевского (1897-1964) 23 - 28 сентября 1996 г., г. Пущино. Тезисы докладов, 1996. С.109-110.

5. Любимов В.В. Современные способы визуализации и аппаратура для электромагнитного мониторинга окружающей среды и геоэкологических исследований // Международная конференция "Экологическая геофизика и геохимия" *Сборник материалов*. Москва-Дубна: ВНИИгеосистем, 1998. С.187 - 189.
6. Любимов В.В. Вопросы экологии человека: электромагнитные микродозы и современные приборы для их обнаружения в производственных и жилых помещениях // Международная школа-семинар - ACS'98 "Автоматизированные и компьютерные системы в науке, технике и промышленности" (29 июня-5 июля 1998 г., Москва, МГУ) Тезисы докладов. М.: МГУ, 1998. С.158-159.
7. Бурцев Ю.А., Головкин В.П., Кузнецов В.Д., Любимов В.В. История магнитного приборостроения в ИЗМИРАН: прошлое, настоящее, ... будущее??? // Материалы Международного семинара «170 лет обсерваторских наблюдений на Урале: история и современное состояние». Екатеринбург, 17-23 июля 2006 г. Екатеринбург: Институт геофизики УрО РАН, 2006. С.45 – 54.
8. Кузнецов В.Д. Электромагнитные и плазменные процессы в системе Солнце-Земля: к 70-летию ИЗМИРАН (Обзор) // *Геомагнетизм и аэрномия*. М.: Наука, 2009, том 49. №6. С.723.
9. Любимов В.В. Малогабаритные, экономичные и дешевые компонентные вариометры для нужд науки и медицины. *Препринт №60 (1007)* М.: ИЗМИРАН, 1992. - 21 с.
10. Зверев А.С., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Новая аппаратура для геофизики и медицины. *Препринт №2 (1098)* М.: ИЗМИРАН, 1997. - 22 с.
11. Любимов В.В. Диагностические магнитометры для проведения электромагнитного мониторинга в условиях города и современные методы и средства индивидуально-массовой визуализации его результатов. *Обзор. Препринт №6 (1116)* М.: ИЗМИРАН, 1998. - 20 с.
12. Любимов В.В. Искусственные и естественные электромагнитные поля в окружающей человека среде и приборы для их обнаружения и фиксации. *Препринт №11 (1127)* Троицк: ИЗМИРАН, 1999. - 28 с.
13. Любимов В.В. Приборы «ИМПЕДАНС» для геофизики и медицины // *Приборы и техника эксперимента*. М.: Наука, 2000. №2. С.157-158.
14. Lyubimov V.V. Instruments for the natural magnetic fields registration in the city conditions: the magnetic storm indicators // 15th International Wroclaw Symposium and Exhibition on Electromagnetic Compatibility (June 27-30, 2000). Abstracts. Wroclaw, 2000. Part 1. PP.379-382.
15. Любимов В.В. Инструментарий для электромагнитного мониторинга и экологических исследований окружающей среды // *Экономика и производство. Технологии, оборудование, материалы* / Журнал организаторов производства. М., 2004. №2. С.58-61.
16. Любимов В.В. Приборы для электромагнитного мониторинга и экологических исследований окружающей среды // *Датчики и Системы* / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. М.: «ООО СенСиДат», 2004. №9. С.25-27.
17. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Магнитометры для электромагнитного мониторинга окружающей среды и исследований в обсерваториях // *Экономика и производство / Технологии, оборудование, материалы* / Журнал организаторов производства. М., 2007. №1. С.78-80.
18. Любимов В.В. Новые магнитометрические приборы для научных исследований // *Приборы*. М., 2009. №6. С.8-12.
19. Любимов В.В. Магнитометры и градиентометры для научных исследований / *Приборы*. М., 2012. №11. С.8-12.
20. Любимов В.В. Современные магнитометры для науки и геофизики, разработанные в ИЗМИРАН // Материалы школы-семинара «II Гординские чтения» 21-23 ноября 2012 г. ИФЗ им. О.Ю.Шмидта РАН, Москва, 2013. С.116-120.
21. Любимов В.В., Заруцкий А.А. Диагностический магнитометр - индикатор магнитной бури // *Приборы и техника эксперимента*. М.: Наука, 1996. №2. С.171.
22. Зверев А.С., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Регистратор магнитной активности // *Приборы и техника эксперимента*. М.: Наука, 1997. №1. С.168.
23. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Новые приборы для исследования гипогомагнитных полей и помещений // *Медицинская физика*. М., 2004. №4(24). С.32 – 35.
24. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Малогабаритный цифровой интеллектуальный регистрирующий феррозондовый магнитометр MAGIC МФ-03-Р // *Датчики и Системы* / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. М.: «ООО СенСиДат», 2004. №10. С.37-38.
25. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Цифровой малогабаритный микропотребляющий магнитометр для различного применения // *Aktualni vymozenosti vedy – 2012 / Materialy VIII Mezinarodni vedecko-prakticka konference 27 cervna-05 cervencu 2012/Fyzika*. Dil 20, Praha, 2012.S.12-19.
26. Любимов В.В. Малогабаритные анализаторы спектра естественных и искусственных электромагнитных микрополей. *Препринт №4 (1143)* М.: ИЗМИРАН, 2001. - 11 с.
27. Любимов В.В. Феррозондовые магнитометры для научных исследований // *Nauka I studia*. Przemysl. 2016. Vol.11. S.52-81.
28. Любимов В.В. Электрометрический вариометр // *Датчики и Системы* / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем. Новые приборы. М.: «ООО СенСиДат», 2014. №2. С.47-48.
29. Любимов В.В. Электрометрический вариометр: результаты испытаний датчиков различных конструкций // *Уральский научный вестник*. 2016. Том 12, №-1.С.161-169.

30. Кириаков В.Х., Любимов В.В. Гипогеомагнитные поля. Прибор «ГИПОМАГ» // *Датчики и Системы / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем*. М.: «ООО СенСиДат», 2004. №9. С.28-29.
31. Любимов В.В., Гурфинкель Ю.И., Ораевский В.Н. Опыт применения диагностических магнитометров в условиях города и в клиниках. *Препринт №99 (1046)* М.:ИЗМИРАН, 1993. - 28 с.
32. Гурфинкель Ю.И., Гусева Т.А., Канониди Х.Д., Любимов В.В., Ораевский В.Н., Шарыгин С.А. Опыт и результаты проведения мониторинговых работ в условиях промышленного города, курортных зон и в клиниках. *Препринт №3 (1099)* М.: ИЗМИРАН, 1997. - 19 с.
33. Рагульская М.В., Любимов В.В. Приборное изучение воздействий естественных магнитных полей на БАТ человека: методы, средства, результаты // *Биомедицинская радиоэлектроника*. №11. М.: Наука, 2000. (<http://jre.cplire.ru/jre/nov00/>)
34. Гурфинкель Ю.И., Кириаков В.Х., Любимов В.В. Применение регистратора магнитной активности IDL-04 в условиях клиники // *Датчики и Системы / Новые приборы*. М.: «ООО СенСиДат», 2005. №2. С.39.
35. Горго Ю.П., Рагульская М.В., Любимов В.В., Ильин В.Н., Андрийчук Ю.Н. Инструментальный электромагнитный контроль производственных и жилых помещений на примере антарктической станции «Академик Вернадский» // *Датчики и Системы / Конструирование и производство датчиков, приборов и систем*. М.: «ООО СенСиДат», 2005. №2. С.26-31.
36. Любимов В.В. Электромагнитный мониторинг в центре города Ялты // *Экономика и производство / Журнал организаторов производства / Журнал депонированных рукописей* №4. апрель 2005 г.
37. Любимов В.В. К 45-летию геомагнитных исследований ИЗМИРАН на Крайнем Севере: Применение цифровых магнитометрических приборов для медицинских научных исследований // *News of Science and Education / Physics: Geophysics*. Sheffield. Science and Education Ltd, 2018. Volume 7. №12. P.63-74.
38. Любимов В.В. К 45-летию геомагнитных исследований ИЗМИРАН на Крайнем Севере: Методические работы, организация пунктов наблюдений и научные исследования с применением цифровых магнитометрических приборов // *Проблемы научной мысли / Fizika: Geofizika*. Г. Днепр: ООО Каллистон, 2018. Volume 3, №12. С.3-21.