

**ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ
В ЛАБОРАТОРИЯХ**

УДК: 621.3

**ПЕРСОНАЛЬНЫЙ МОНИТОР ОПЕРАТИВНОГО КОНТРОЛЯ
ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ**

**© 2025 г. Ю. И. Бочаров, В. А. Бутузов, И. Н. Водохлебов,
Ю. А. Воронов, А. В. Матвеев, А. Б. Симаков**

Поступила в редакцию 28.01.2025 г.

После доработки 22.04.2025 г.

Принята к публикации 28.04.2025 г.

К настоящему времени собран и систематизирован значительный объем данных о влиянии электромагнитного и низкочастотного магнитного излучения на физиологические системы, психофизиологические параметры и здоровье человека [1]. Предельные уровни микроволнового воздействия приводятся в национальных стандартах Российской Федерации [2], Европейского союза [3] и США [4]. Опасные уровни переменных и постоянных магнитных полей определены в европейском и российском стандартах [3, 5]. Допустимый верхний порог мощности потока электромагнитного излучения составляет по российскому стандарту 100 мкВт/см^2 . Исследования авторов этой работы подтвердили обоснованность таких пороговых значений для микроволновой безопасности [6, 7]. Предельные уровни экспозиции низкочастотных и постоянных магнитных полей согласно [5] составляют 10 мТл при суммарном времени воздействия 8 часов и 30 мТл при времени действия 10 минут.

Источниками опасных искусственных микроволновых и магнитных полей являются промышленное оборудование, системы электропередачи, медицинские томографы, физические установки международных исследовательских проектов: CERN (Швейцария), BNL (США), GSI (Германия), NICA (Россия) и т. д. Важным фактором микроволновой опасности является современная мобильная связь и другие средства

коммуникации и локации, которые создают территориальные зоны опасных сверхвысокочастотных (СВЧ) облучений [7].

В настоящее время производится целый ряд носимых портативных СВЧ-дозиметров, контролирующих уровень СВЧ-излучений и сигнализирующих о достижении опасного облучения, а также портативных персональных магнитометров – приборов контроля уровня постоянных и переменных магнитных полей.

Основным элементом магнитометров является датчик индукции магнитного поля. Для использования в портативных приборах массового применения перспективны датчики на основе эффекта Холла, реализуемые в виде интегральных микросхем (ИМС), содержащих наряду с чувствительными элементами ряд дополнительных блоков, таких как усилители, стабилизаторы тока и напряжения, преобразователи выходного напряжения в цифровой или частотный сигнал. Главное преимущество таких датчиков в их технологической совместимости с освоенными микроэлектронной промышленностью процессами изготовления ИМС [8].

В настоящей работе приведены результаты разработки и испытаний экспериментального образца портативного монитора – комбинированного прибора для оперативного контроля микроволнового излучения и индукции магнитного поля. Особенностью прибора является использование в нем разработанной специализированной интегральной микросхемы датчика Холла, которая произведена по коммерческой объемной КМОП-технологии с проектной нормой 180 нм. Монитор может быть применен персоналом промышленных, медицинских и исследовательских физических установок для оценки уровня опасности и выработки сигналов тревоги.

Прибор содержит два специально разработанных и изготовленных микроэлектронных датчика: гибридную микросборку с антенным блоком для измерения микроволновых излучений в широком частотном и динамическом диапазоне, а также специализированную ИМС с первичным преобразователем индукции магнитного поля, основанным на эффекте Холла, и встроенными электронными блоками съема и аналоговой обработки сигналов. Управление всеми узлами монитора выполняет 32-разрядный микроконтроллер ST32F205VGT6 компании STM. Встроенное программное обеспечение микроконтроллера обеспечивает расчеты характеристик измеряемых полей с учетом калибровочных поправок, выполняет анализ результатов и вывод их на дисплей, управляет техническими средствами предупреждения и тревоги. Дисплей прибора выполнен на базе цветной IPS-матрицы с диагональю 1.8 дюйма. Фотография внешнего вида монитора показана на рис. 1.

Рис. 1. Внешний вид монитора.

Канал мониторинга СВЧ излучений содержит микросборку из трех дипольных антенн (рис. 2) и микросхем детекторов радиочастотных и СВЧ-сигналов LT5534 компании Analog Devices с динамическим диапазоном 60 дБ. Особенностью микросборки является применение элементов из низкотемпературной керамики LTCC (Low Temperature Co-Fired Ceramic), что обеспечивает удобство ее изготовления и хорошие частотные свойства тракта СВЧ.

Рис. 2. Антенна с блоком детектирования СВЧ-излучений.

Канал измерения статического и низкочастотного переменного магнитного поля выполнен на одной специализированной ИМС [8]. Микроконтроллер используется для установки режимов, преобразования сигналов в цифровую форму, калибровки и индикации результатов. Микросхема содержит чувствительный элемент – первичный преобразователь, основанный на эффекте Холла, инструментальный (измерительный) усилитель, а также регулируемый генератор стабильного тока. На рис. 3 показаны передаточные характеристики канала, сдвинутые в середину шкалы на величину начального смещения выходного сигнала при отсутствии магнитного поля.

Рис. 3. Передаточные функции трех образцов ИМС-датчика индукции магнитного поля при трех значениях температуры.

Основные технические характеристики. Канал мониторинга СВЧ-излучения: частотный диапазон регистрируемых СВЧ излучений составляет от 0.9 до 3 ГГц; амплитудный диапазон – от 10 мкВт/см² до 1.6 мВт/см², максимальная величина удельного коэффициента поглощения электромагнитной энергии (SAR, Specific Absorption Rate) равна 1.3 Вт/кг; диапазон рабочих температур – от –5 до 50°C. Канал измерения магнитного поля: линейный динамический диапазон составляет ±150 мТл; диапазон рабочих температур – от –40 до +125°C; значения коэффициента преобразования величины индукции магнитного поля в напряжение на линейном выходе ИМС при отсутствии калибровки, усредненные по результатам испытаний нескольких образцов равны 4, 6 и 7 мВ/мТл для значений температуры соответственно 80, 25 и –40°C. Время автономной работы прибора составляет более 24 часов. Его габаритные размеры 133×79×31 мм³, масса 163 г.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа была выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ (грант № FSWU-2022-2022). Производство интегральной микросхемы выполнено при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках госзадания на выполнение научно-исследовательской работы “Разработка методики прототипирования электронной компонентной базы на отечественных микроэлектронных производствах на основе сервиса MPW (FSMR-2023-0008)”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Markov M. S.* Electromagnetic Field in Biology and Medicine, Boca Roton: CRC Press, 2015.
2. СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03 Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи.
<https://www.centrattek.ru/media/new/regulation/sanpin-2-1-8-2-2-4-1190-03-gigienicheski.pdf>.
3. *ICNIRP Collab.* // Health Phys. 2020. V. 118(5). P. 483. DOI:10.1097/HP.0000000000001210.
4. IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields, 3 kHz to 300 GHz. // IEEE Sandarts C95.1-2005. DOI:10.1109/IEEESTD.2006.99501.
5. СанПиН 2.2.4.0-95. Гигиенические требования при работе в условиях воздействия постоянных магнитных полей. Москва: Госкомсанэпиднадзор России, 1996.
6. *Samotaev N., Simakov A., Onishchenko E., Gurkovskiy B., Butuzov V., Bocharov Yu., Vodokhlebov I., Zhuravlev B., Murtazina E.* // IEEE Workshop on Environmental, Energy, and Structural Monitoring Systems (EESMS), 2016. P. 1. DOI:10.1109/EESMS.2016.7504812.
7. *Бочаров Ю.И., Водохлебов И.Н., Губский К.Л., Симаков А.Б., Симаков М.А.* // Датчики и системы. 2020. № 5. С. 51.
8. *Бочаров Ю.И., Бутузов В.А., Иванов Д.Н., Симаков А.Б., Матвеев А.В., Малич Д. С., Леонов А.А., Датчики и системы.* 2023. № 6. С. 10.

Адрес для справок: Россия, 115409, Москва, Каширское шоссе 31, Национальный исследовательский ядерный университет “МИФИ”. E-mail: yibocharov@mephi.ru

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Рис. 1. Внешний вид монитора.

Рис. 2. Антенна с блоком детектирования СВЧ-излучений.

Рис. 3. Передаточные функции трех образцов ИМС-датчика индукции магнитного поля при трех значениях температуры.



Рис. 1.



Рис. 2.

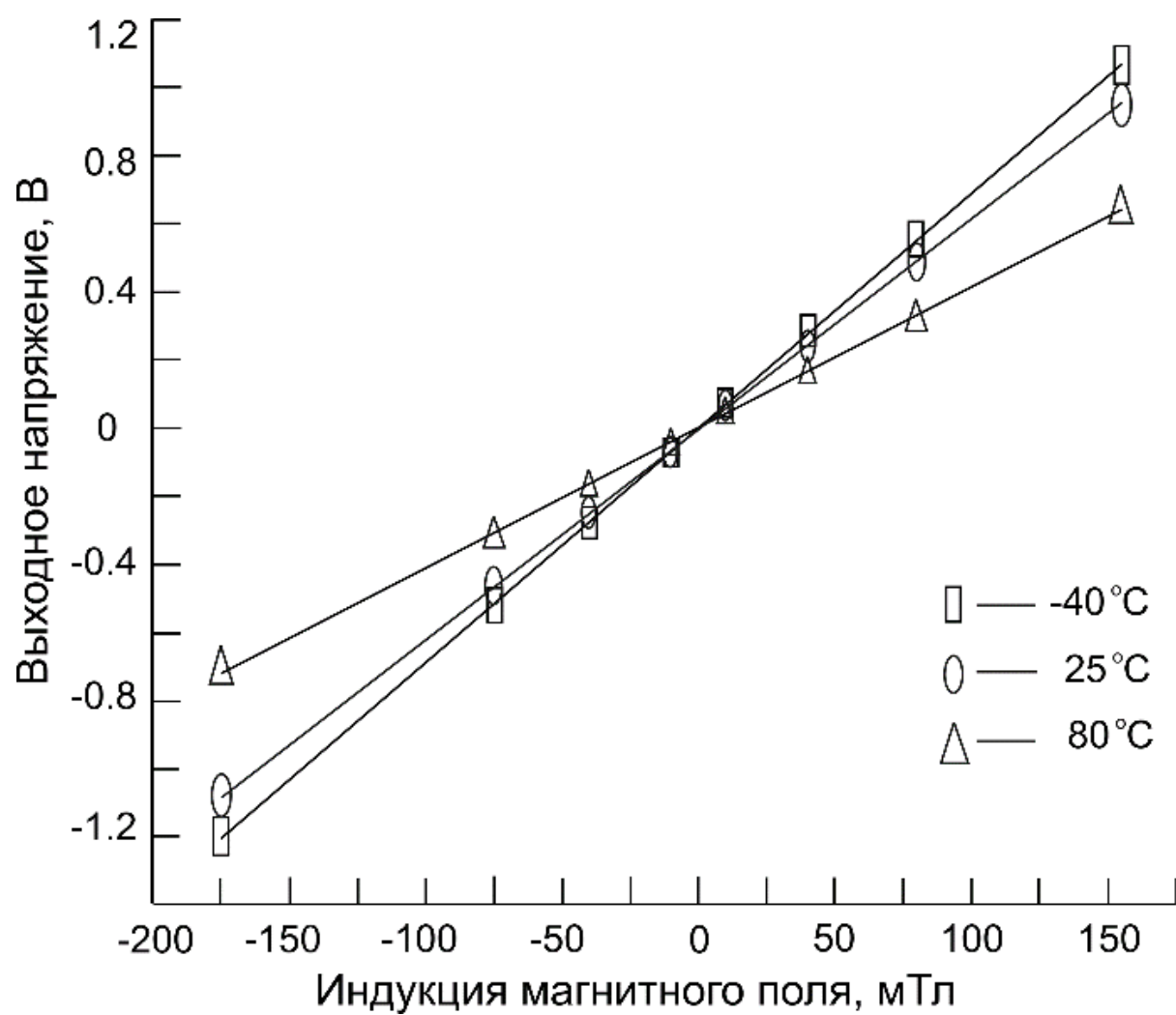


Рис. 3.