

## Мониторинг электромагнитных полей инфранизкочастотного диапазона

Л.В. Грунская<sup>1</sup>, А.Н. Золотов<sup>1</sup>, И.В. Фирсов<sup>1</sup>, С.А. Назаров<sup>1</sup>, И.Д. Нургалиев<sup>1</sup>, С.А. Тряпкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Владимирский государственный университет имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича Столетовых", 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

E-mail: [grunsk@vlsu.ru](mailto:grunsk@vlsu.ru)

На физическом экспериментальном полигоне ВлГУ создана система многоканального синхронного мониторинга электрического и геомагнитного поля с метеопараметрами. Созданный комплекс выполняет задачи: регистрация электрического поля, геомагнитного поля, метеоданных; сбор, обработка и хранение результатов мониторинга; удаленный анализ баз экспериментальных данных. Непрерывный мониторинг осуществляется с целью: изучение атмосферного электричества; обнаружение электромагнитных предвестников землетрясений; исследования лунных и гравитационно-волновых приливных процессов в электромагнитном поле Земли.

Ключевые слова: электромагнитное поле Земли, система мониторинга, датчик электрического поля, местный помеховый фон.

## Monitoring of Infra-Low-Frequency Electromagnetic Fields

L.V. Grunskaya<sup>1</sup>, A.N. Zolotov<sup>1</sup>, I.V. Firsov<sup>1</sup>, S.A. Nazarov<sup>1</sup>, I.D. Nurgaliev<sup>1</sup>, S.A. Tryapkin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Vladimir State University.

A multichannel synchronous monitoring system for electric and geomagnetic fields with meteorological parameters has been created at the VSU physics experimental site. The complex performs the following tasks: recording the electric field, geomagnetic field, and meteorological data; collecting, processing, and storing monitoring results; and remote analysis of experimental databases. Continuous monitoring is carried out for the following purposes: studying atmospheric electricity; detecting electromagnetic precursors of earthquakes; and investigating lunar and gravitational-wave tidal processes in the Earth's electromagnetic field.

Keywords: Earth's electromagnetic field, monitoring system, electric field sensor, local interference background.

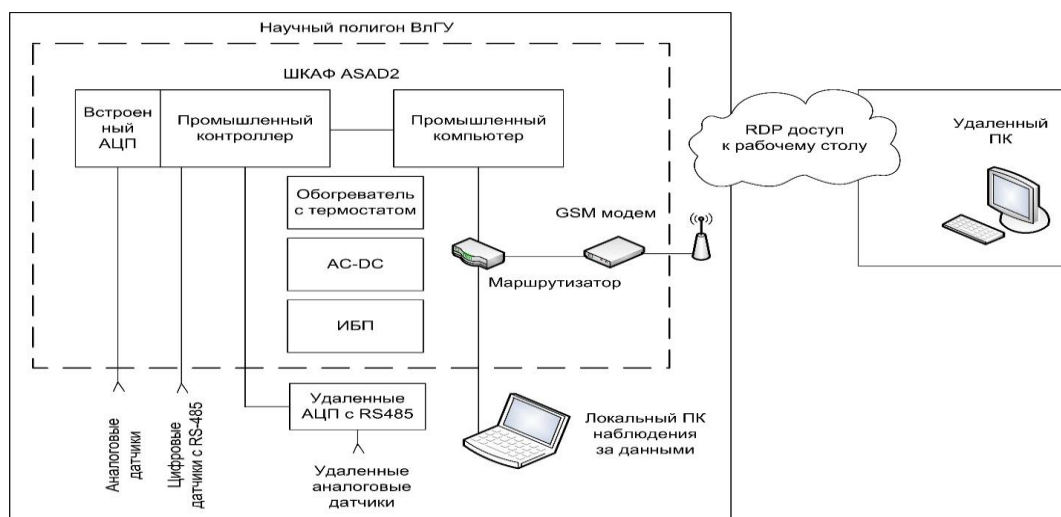
### Введение

Электромагнитное поле Земли в инфранизкочастотном диапазоне (ЭМПЗ ИНЧ) наблюдается в резонаторе Земля-ионосфера в виде унитарной составляющей (постоянной и глобальной) и местной составляющей, характерной для каждого места регистрации поля. В резонаторе Земля-ионосфера (сферический волновод) могут распространяться электромагнитные волны различных диапазонов. Нижняя граница частот не существует, т.е. в волноводе Земля-ионосфера могут распространяться радиоволны сколь угодно низкой частоты, вплоть до постоянного тока [1]. Разность потенциалов в волноводе достигает сотен тысяч вольт и проявляется в виде вертикального электростатического поля с напряженностью вблизи поверхности Земли порядка 100 В/м. Главным источником электромагнитной энергии ИНЧ диапазона являются грозовые разряды (разряды облако-земля и внутриоблачные разряды). Сейсмoeлектромагнитные колебания, создаваемые сейсмическими процессами на

Земле вносят свой вклад в ЭМПЗ. Источником электромагнитных колебаний в полости Земля-ионосфера являются также ИНЧ излучения, проникающие в резонатор через ионосферу из космоса. Этот вид ИНЧ полей связан с регулярными колебаниями геомагнитного поля, спровоцированными солнечной активностью. Приливные силы Луны и Солнца создают как в земной атмосфере, так и в ЭМПЗ инфранизкочастотные колебания, причем непрерывного характера и в довольно близком диапазоне к изучаемым нами гравитационно-волновым сигналам от РДЗС. Поэтому изучению лунно-солнечных приливов в ЭМПЗ было уделено значительное внимание. Местный помеховый фон в ИНЧ диапазоне, вызываемый помехами от дождя, снега, ветра также вносит определенные изменения в ЭМПЗ.

### Система мониторинга на физическом полигоне ВлГУ

На физическом экспериментальном полигоне ВлГУ создана система многоканального синхронного мониторинга электрического и геомагнитного поля с метеопараметрами. Разработка приемно-регистрирующего комплекса началась с 1972 года. Основной экспериментальной базой проводимых исследований является физический экспериментальный полигон ВлГУ, расположенный в 40 км от г. Владимира на территории 4 га и служащий для непрерывных синхронных регистраций электрического и геомагнитного полей в инфранизкочастотном (ИНЧ) диапазоне [2-7]. На рисунке 1 показана общая структура системы мониторинга, находящейся на полигоне ВлГУ. В системе применяются промышленный компьютер, программируемый логический контроллер (ПЛК), встроенные и внешние АЦП компании Advantech, метеостанция, все элементы монтируются в герметичный шкаф, который имеет термостатирование. Таким образом, надежность системы существенно увеличилась, и появилась возможность применять систему при отрицательных температурах в режиме 24/7.



**Рис. 1. Структура разработанного переносного комплекса регистрации данных мониторинга с промышленной надежностью**

С 2012 года разработку и создание системы мониторинга и ее компонент осуществляет НПП «Электростатик», созданный в ВлГУ (+7 904 257 66 83; info@fluxmeter.ru). Основные разработки, связанные с мониторингом характеристик природной среды: Измерительный комплекс; Система сбора данных; Калибровочное устройство; Флюксметр ПЧЕЛА-А аналоговый; Флюксметр ПЧЕЛА-Д2 цифровой; Цифровой датчик параметров атмосферы. НПП предлагает всем своим пользователям

гарантийное и послегарантийное обслуживание, инженеры всегда готовы оказать помощь в диагностики или ремонте.

Можно проследить историю разработки и создания датчиков электрического поля (электростатического флюксметра) в ВлГУ (рис. 2. – рис. 11).



Рис. 2. На основе анализа многолетнего опыта работы с электростатическими флюксметрами на кафедре физики ВлГУ в 2008 году была разработана новая версия аналогового флюксметра ЭФ-1. В нем был использован в качестве привода двигатель от накопителя на жестких магнитных дисках персональной ЭВМ (винчестера). Основные достоинства: улучшенное подавление промышленной частоты 50 Гц.



Рис. 3. В 2012 году был создан аналоговый флюксметр ЭФ-2 в корпусе диаметром 200 мм. Основные достоинства: улучшенное подавление промышленной частоты 50 Гц, переход на новую электронную базу. (НПП «Электростатик»).



Рис. 4. В 2014 году был создан аналоговый флюксметр ЭФ-3 в корпусе диаметром 120 мм. Основные достоинства: улучшенная двигательная группа и системы управления двигателем. Основные характеристики разработанного флюксметра: диапазон измерения  $\pm 10000$  В/м; точность измерения 2 В/м; чувствительность устройства равна 0,2 В/м/мВ; реальная рабочая полоса частот устройства равна 4,5 Гц; неравномерность коэффициента передачи в полосе частот – 0,5 дБ, подавление сетевой помехи на частоте 50 Гц – не менее 40 дБ. (НПП «Электростатик»).



Рис. 5. В 2016 году создан вариант ЭФ-4 - аналоговый флюксметр в прямоугольном корпусе. Основные достоинства: улучшена двигательная группа стабильная частота вращения, больший срок службы двигателя. (НПП «Электростатик»).



Рис. 6. В 2018 году впервые был создан цифровой флюксметр ЭФ-5 в прямоугольном корпусе. Основные достоинства: добавлен промышленный АЦП 16 разрядов, выход RS-485. (НПП «Электростатик»).



Рис. 7. В 2020 году создана полностью переработанная механическая конструкция прибора - ПЧЕЛА-Д1. Основные достоинства: встроенная метеостанция с выходом RS-485; аналоговый выход; новое программное обеспечение для промышленного компьютера и для сбора и обработки данных FluxViewer; встроенный 32 разрядный АЦП. (НПП «Электростатик»).



**Рис. 8.** В 2021 году создан цифровой флюксметр ПЧЕЛА-Д1, предназначенный для измерения напряженности электростатических полей Земли с последующей цифровой обработкой и фильтрацией входного сигнала (НПП «Электростатик»).



**Рис. 9.** В 2022 году разработан и создан флюксметр ПЧЕЛА-А2 (выпускаемая версия), предназначенный для измерения напряженности электрических полей широкого диапазона. Применяется в научных лабораториях, различных системах мониторинга и при проведении измерений в тяжелых полевых всепогодных условиях. Основные характеристики разработанного флюксметра: диапазон измерения  $\pm 10000$  В/м; точность измерения 2 В/м; чувствительность устройства равна 0,2 В/м/мВ; реальная рабочая полоса частот устройства равна 4,5 Гц; неравномерность коэффициента передачи в полосе частот – 0,5 дБ, подавление сетевой помехи на частоте 50 Гц – не менее 40 дБ. (НПП «Электростатик»).



**Рис. 10.** В 2023 году создан цифровой датчик параметров атмосферы (НПП) (температуры, влажности и давления) NL-3DPAS, который выполняется на основе цифрового датчика температуры и давления MS5611, датчика влажности SHT31: погрешность по температуре  $\pm 0,2$  °C ( в интервале 0...+90 °C); погрешность по температуре  $\pm 0,3$  °C ( в интервале -40.-0 °C); погрешность по влажности  $\pm 2$  %; погрешность по давлению  $\pm 1.5$  %; напряжение питания 8...30 В.



**Рис. 11.** Разработано и создано градуировочное устройство для электростатических флюксметров. Градуировочное устройство предназначено для автоматического определения поправочных переменных цифрового флюксметра, имеет равномерное распределение электростатического поля. (НПП «Электростатик»).

### **Местный помеховый фон в инфранизкочастотном диапазоне ЭМПЗ**

Непрерывный мониторинг электрического и геомагнитного поля приземного слоя атмосферы в инфранизкочастотном диапазоне осуществляется с целью: фундаментальные исследования электромагнитного поля приземного слоя атмосферы; изучение атмосферного электричества; обнаружение электромагнитных предвестников землетрясений; исследования лунных и гравитационно-волновых приливных процессов в электромагнитном поле Земли.

За последние десятилетия значительно возросла относительная роль антропогенных факторов в формировании электрических полей у земной поверхности. Радио – и телевизионные станции, линии электропередач, объемные заряды, возникающие в атмосфере в результате действия промышленности и транспорта, вследствие процессов горения, испарения, диспергирования веществ в воздухе, создают дополнительные изменения ЭП.

### Влияние ветровой, дождевой и снежной помех на характер вариаций $E_z$

Эффекты местного масштаба определяются метеорологическими условиями, характерными для данного района: облака, осадки, туман, метели, дожди, грозы, снегопады вызывают изменение напряженности поля с периодами в диапазоне от долей секунды до нескольких часов. Изучение типов и особенностей воздействий на электрическое поле приземного слоя атмосферы метеорологических процессов важно при решении задач, требующих идентификации событий, отражающихся в электрическом поле Земли и связанных с воздействием ряда геофизических и астрофизических процессов в ИНЧ диапазоне.

Уровень естественных помех ИНЧ диапазона сильно зависит от местных метеорологических и антропогенных условий. В ветреную погоду перемещение воздуха с меняющейся диэлектрической проницаемостью или содержащего области пространственного заряда вблизи приемной антенны вызывает помеху, существенно превосходящую полезный сигнал. Помехи от дождя и снега нарушают нормальную работу приемного устройства.

При осадках типа мокрого снега электрическое поле претерпевает резкие колебания (рис. 12). Причиной такого изменения электрического поля является пространственное перемещение зарядов на частицах осадков и влияние остающегося в облаке объемного заряда. Напряженность поля у земной поверхности при перемещении больших масс сухого снега может достигать величины 100 В/см. На рисунках 13 и 14 представлены примеры записей  $E_z$  ураганного ветра и дождя.



**Рис. 12.** Суточная запись  $E_z$  по мониторингу на полигоне ВлГУ в условиях снегопада с 9:00 до 18:00, 07.03.2021



**Рис. 13.** Суточная запись  $E_z$  по мониторингу на полигоне ВлГУ в условиях ураганного ветра в течение суток 12.11.2022





**Рис. 14. Суточная запись  $E_z$  по мониторингу на полигоне ВлГУ в условиях дождя 09.10.2019, с 16:00 до 21:00**

На рис. 15 приведен пример суточной записи электрического поля по результатам мониторинга на полигоне ВлГУ в условиях грозовой обстановки с дождем с 18ч. до 21ч., 30.05.2019. В записи вариаций электрического поля наблюдаются всплески обеих полярностей более 2000 В/м.



**Рис. 15. Суточная запись  $E_z$  по мониторингу на полигоне ВлГУ в условиях грозы с 18:00 по 21:00, 30.05.19**

## Выводы

Анализ условий приема электромагнитных полей инфранизкочастотного диапазона в конечном счете привел к выводу о необходимости длительного характера мониторинга (десяtkи лет) для исключения возможного влияния местных, метеорологических и солнечных воздействий на обнаружение в ЭМП ИНЧ периодических воздействий как геофизического, так и астрофизического характера. Естественно, что необходимость получения экспериментальных данных путем длительного мониторинга также связаны с возможностью получить необходимую разрешающую способность в спектрах электрического и геомагнитного полей для обнаружения сигналов в ИНЧ диапазоне.

## Литература

1. Блиох, П.В. Глобальные электромагнитные резонансы в полости Земля–ионосфера / П.В. Блиох, А.П. Николаенко, Ю.Ф. Филиппов // Наукова думка, Киев, 1977. 199 с.
2. Грунская Л.В., Золотов А.Н., Бушуев А.С. Универсальная система сбора данных для мониторинга характеристик природной среды // VIII Всероссийская конференция по атмосферному электричеству с международным участием. Нальчик. Сборник трудов. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского. 2019. С. 79-81.
3. Грунская Л.В., Золотов А.Н., Бушуев А.С., Лукьянов В.Е. Программно-аппаратный комплекс мониторинга электромагнитного поля Земли // Труды Всероссийской

открытой научной конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн». Муром. 2020. ID: [43149498](#). С. 428-433.

4. Грунская Л.В., Золотов А.Н., Хакимов М.Ф., Тихомиров С.М. Система мониторинга электрического и геомагнитного поля Земли в инфранизкочастотном диапазоне // Материалы IX Всероссийской научной конференции по атмосферному электричеству, Военно-космическая академия имени А.Ф.Можайского. 2023. Санкт-Петербург. С. 341-352.

5. Грунская Л.В., Золотов А.Н., Бушуев А.С., Сныгина И.А. Универсальная система удаленного сбора данных для мониторинга характеристик природной среды // Динамика сложных систем –XXI век. Москва: Издательство «Радиотехника». № 4 . 2018. С. 28-42.

6. Грунская, Л.В. Оценка параметров электрического поля приземного слоя атмосферы на основе метода корреляционного приема: Монография / Л.В. Грунская.- Владимир: Владимирский государственный университет. 2010. 123 с.

7. Грунская Л.В., Морозов В. Н., Ефимов В. А., Золотов А.Н., Рубай Д. В., Закиров А. А. Мониторинг электромагнитных полей пограничного слоя атмосферы Земли// Монография Издатель: Germany, LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 192 с.