



ИРКУТСКИЙ ПОЛИТЕХ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



**Материалы XVII Всероссийской
научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(с международным участием)**

(г. Иркутск, 22 мая 2025 г.)

**Иркутск
2025**



**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

приоритет 

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ

Материалы XVII Всероссийской
научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(с международным участием)

(г. Иркутск, 22 мая 2025 г.)



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского технического
университета
2025



Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНИТУ

Современные проблемы радиоэлектроники и связи : материалы XVII Всерос. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием) (г. Иркутск, 22 мая 2025 г.). – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2025. – 208 с.

Представлены доклады, посвящённые современным проблемам радиотехники, радиоэлектроники и связи.

Рассмотрены вопросы проектирования, эксплуатации и диагностики систем передачи информации различного назначения, вопросы применения радиоэлектронных устройств для решения научных и практических задач.

Программный комитет и редколлегия сборника:

Строкин Н.А. – д.ф.-м.н., профессор, ИРНИТУ, г. Иркутск, научный редактор;
Ишин А.Б. – к.ф.-м.н., ИРНИТУ, г. Иркутск, ответственный редактор;
Фискин Е.М. – к.ф.-м.н., ИРНИТУ, г. Иркутск;
Гаврилюк А.А. – д.ф.-м.н., профессор, ИГУ, г. Иркутск;
Афанасьев Н.Т. – д.ф.-м.н., профессор, ИГУ, г. Иркутск;
Климов Н.Н. – д.ф.-м.н., профессор, ИрГУПС, г. Иркутск;
Чупров С.В. – д.э.н., профессор, БГУ, г. Иркутск;
Гончаров В.Д. – д.т.н., профессор, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург;
Блинов Ю.И. – д.т.н., профессор, СПбГЭТУ «ЛЭТИ», г. Санкт-Петербург;
Благодарный Н.С., к.ф.-м.н., профессор, СПбГУПТД, г. Санкт-Петербург;
Перевалова Н.П., д.ф.-м.н., ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск;
Петров П.С., д.ф.-м.н., ТОИ ДВО РАН, г. Владивосток;
Башкуев Ю.Б., д.ф.-м.н., профессор, ИФМ СО РАН, г. Улан-Удэ;
Эльхутов С.Н., к.т.н., доцент, АнгТУ, г. Ангарск;
Ченский А.Г., к.ф.-м.н., доцент, ИРНИТУ, г. Иркутск;
Гурулев А.А., к.ф.-м.н., доцент, ИПРЭК СО РАН, г. Чита;
Насыров И.А., к.ф.-м.н., доцент, КФУ, г. Казань;
Бардаков В.М., д.ф.-м.н., профессор, ИрГУПС, г. Иркутск;
Попов Г.В., д.ф.-м.н., профессор, ИрГУПС, г. Иркутск;
Gholamreza Jafari, PhD, Professor, Shahid Beheshti University, Tehran, Iran;
Dashdorj Zolzaya – PhD, Associate Professor, Mongolian University of Science and Technology, Ulaanbaatar, Mongolia;
Kotova Daria Sergeevna – Ph.D., Researcher, Department of Physics, University of Oslo, Oslo, Norway;

*Печатается с файлов, предоставленных авторами.
Редакционная коллегия сборника оставляет авторам право
на свой стиль изложения рассматриваемых проблем.*

Разработка метода коррекции модели нейтрального ветра HWM по оптическим наблюдениям в п. Торы.

Б.А. Аюшиев¹, И.К. Едемский²

1 – Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

2 – Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия
ilya@iszf.irk.ru, ifb-21-1@yandex.ru

Модель HWM эффективно используется для предсказания и анализа атмосферных ветров, включая нейтральные ветры. Однако она может содержать значительные расхождения с реальными измерениями. В статье приводятся попытки разработки метода коррекции модели нейтрального ветра HWM по измеренным данным.

Введение

Ветер в верхних слоях атмосферы зависит от множества факторов, включая глобальные воздушные циркуляции, температурные градиенты, местные географические особенности и солнечную активность. На высотах от нескольких километров до стратосферы сильнее проявляются струйные потоки, которые могут достигать скоростей до 300 км/ч, а также влияние турбулентности и горных ветров.

Наблюдения за ветром на высотах имеют большое значение для глобального оперативного прогнозирования погоды в любом масштабе и часто наиболее эффективны при проведении параллельно с одновременными измерениями полей характеристик воздушных масс (температуры и относительной влажности). Это также важно для исследований и прогнозов космических миссий, поскольку ветер может влиять на движение спутников и поведение ионосферы [4, 6].

Исследование ветра

Нейтральный ветер в верхних слоях атмосферы — это движение воздуха, которое происходит без значительного воздействия электрических зарядов или других ионизированных частиц, как это происходит в ионосфере [4].

Для исследования нейтрального ветра измеряют 2 его составляющие:

1. Меридиональная составляющая ветра ориентирована по меридиану, то есть движется с севера на юг или наоборот. Эта компонента определяется разницей температур между северным и южным полушариями, а также особенностями атмосферных течений на разных широтах. Меридиональный ветер играет важную роль в переносе энергии и массы по вертикали и горизонтали, оказывая влияние на глобальные климатические процессы.

2. Зональная составляющая ветра направлена вдоль параллелей, то есть с запада на восток или наоборот. Это движение связано с глобальными

циркуляциями, такими как пассаты, антициклоны и струйные потоки, и образуется вследствие разницы давления и температуры между различными широтами [4].

Измерения были проведены в геофизической обсерватории в поселке Торы в Тункинском районе Бурятии с помощью интерферометра Фабри-Перо.

Интерферометр Фабри-Перо

Интерферометр Фабри-Перо — это оптический прибор, который используется для измерения малых изменений длины волны света, проходящего через систему. Он состоит из двух зеркал, расположенных параллельно друг другу, между которыми находится прозрачный слой, обычно воздух или газ. Общая схема применяемого для наблюдений интерферометра показана на рисунке 1.

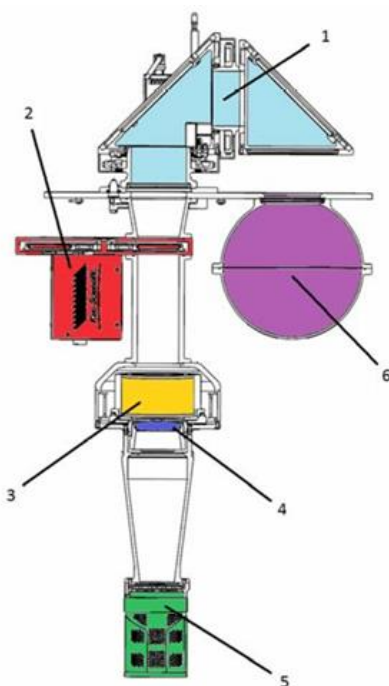


Рисунок 1. Общая схема интерферометра: 1 — перископическое входное окно; 2 — кассета со светофильтрами; 3 — эталон (резонатор) Фабри-Перо; 4 — фокусирующая линза; 5 — камера; 6 — светорассеивающая сфера для обеспечения процедуры калибровки. Входное окно ориентировано таким образом, чтобы интерферометр регистрировал рассеянное в сфере излучение гелий-неонового лазера

Для измерения ветра с его помощью используется принцип изменения длины волны света, проходящего через атмосферный воздух. Ветер может вызвать изменение плотности и температуры воздуха, что, в свою очередь, влияет на показатель преломления. Это что приводит к небольшим изменениям в длине волны света, проходящего через систему, что приводит

к небольшим сдвигам в интерференционной картине. Эти сдвиги измеряются и интерпретируются как изменения в движении воздуха [1].

Модель HWM

Модель HWM (Horizontal Wind Model) — это математическая модель, предназначенная для прогнозирования ветра в верхних слоях атмосферы, таких как стратосфера и мезосфера. Она основывается на усредненных данных наблюдений и численных методах для описания движения воздушных масс [2].

Модель была разработана в NASA с целью улучшения прогнозирования ветра и понимания атмосферных процессов на больших высотах. Она активно используется в аэрокосмических исследованиях и метеорологии. Для ее использования требуется ввести данные о времени, географических координатах и других атмосферных переменных. Результаты модели представляют собой прогнозы скорости и направления ветра на различных высотах, что позволяет анализировать атмосферные условия и разрабатывать прогностические модели.

Сравнение данных модели с измеренными

Модель HWM предназначена для предоставления средних или типичных характеристик ветра, а не для точных локальных прогнозов. Поэтому её результаты лучше подходят для общего представления, а не для конкретных ситуаций. Она может не учитывать локальные географические особенности, параметры ионосферы, метеоусловия или экстремальные события, поэтому рассчитанные по модели значения нейтрального ветра и реальные измерения могут значительно отличаться.

Обработка данных происходила в среде программирования Python, с установкой модели HWM и выводом из нее средних значений нейтрального ветра с заданными параметрами (высота над уровнем моря, долгота, широта, параметры магнитного поля и др.) [3].

Попытки поставить модель HWM локально окончились неудачей, так как для установки необходима библиотека fortran, которая доступна для операционной системы Linux, но отсутствует на Windows. Запуск на эмуляторе тоже не увенчался успехом. В итоге было решено запустить модель в виртуальной машине с помощью Google Colab.

Для сравнения были построены графики. По рисункам 2 и 3 видны существенные различия между значениями скоростей меридионального и зонального ветров модели и результатов наблюдений.

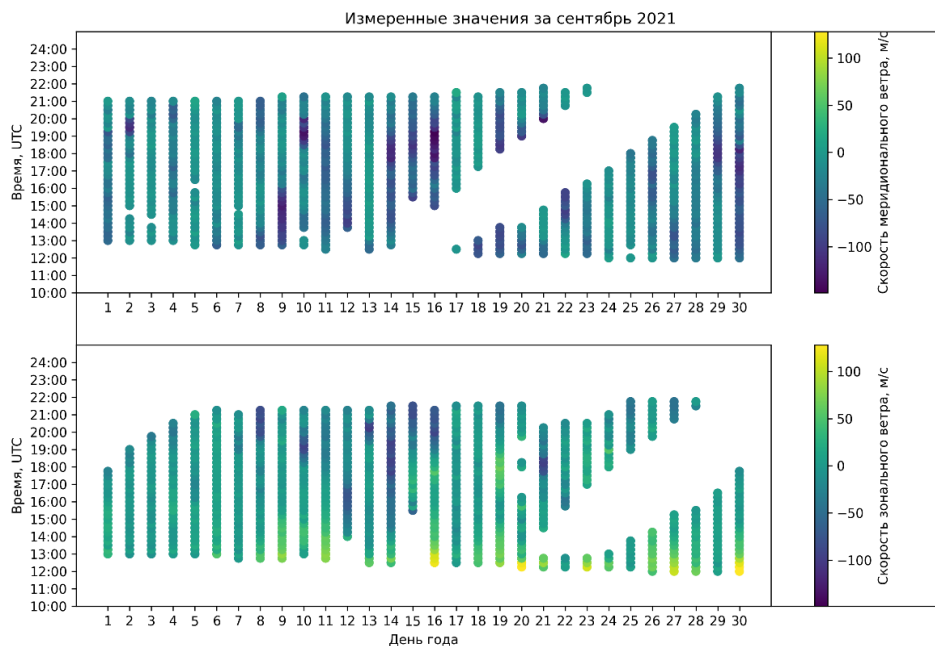


Рисунок 2. График измеренных значений нейтрального ветра с обсерватории в п. Торы

Пустые поля в графике — это отсутствие измерений из-за засвета интерферометра лунной в моменты максимальной ее яркости.

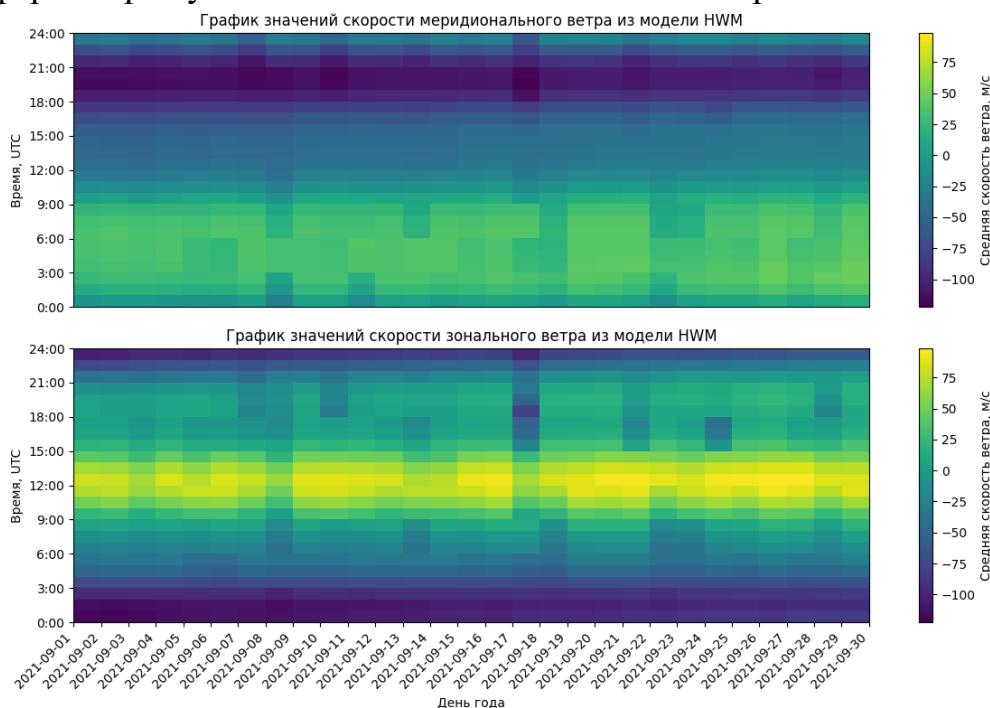


Рисунок 3. График рассчитанных значений нейтрального ветра по модели HWM14

Анализ и коррекция

Для коррекции смоделированных значений изменяются параметры:

- F10.7 (или f107) — индекс солнечной радиации, характеризующий уровень солнечной активности.
- F10.7A (или f107a) — ежедневное среднее значение F10.7, скорректированное с учетом долгосрочных трендов, используется для учета солнечной активности.
- Ap — геомагнитный индекс, отражающий уровень геомагнитных возмущений.

Однако в ходе работы выяснилось, что в функции расчета модели НWM не учитываются индексы f107 и f107a. Нейтральный ветер в верхних слоях атмосферы чувствителен к изменениям в солнечной активности через механизмы передачи энергии и импульса от ионосферы и магнитосферы в нейтральные слои. При повышении солнечной активности наблюдаются усиление геомагнитных возмущений, что приводит к изменению скорости и направления нейтрального ветра [5]. А так как индекс вообще не учитывается в модели, это ведет к расхождениям с измерениями.

Тогда было решено провести первичную коррекцию модели путем изменения геомагнитного индекса ap.

Реальное значение ap в определённый период времени в 3 часа изменялось для вычисления абсолютной разности модельных и измеренных значений. Затем использовался тот ap, при котором разность минимальна. На рисунке 4 показан пример перебора индексов для выявления минимальной абсолютной разности.

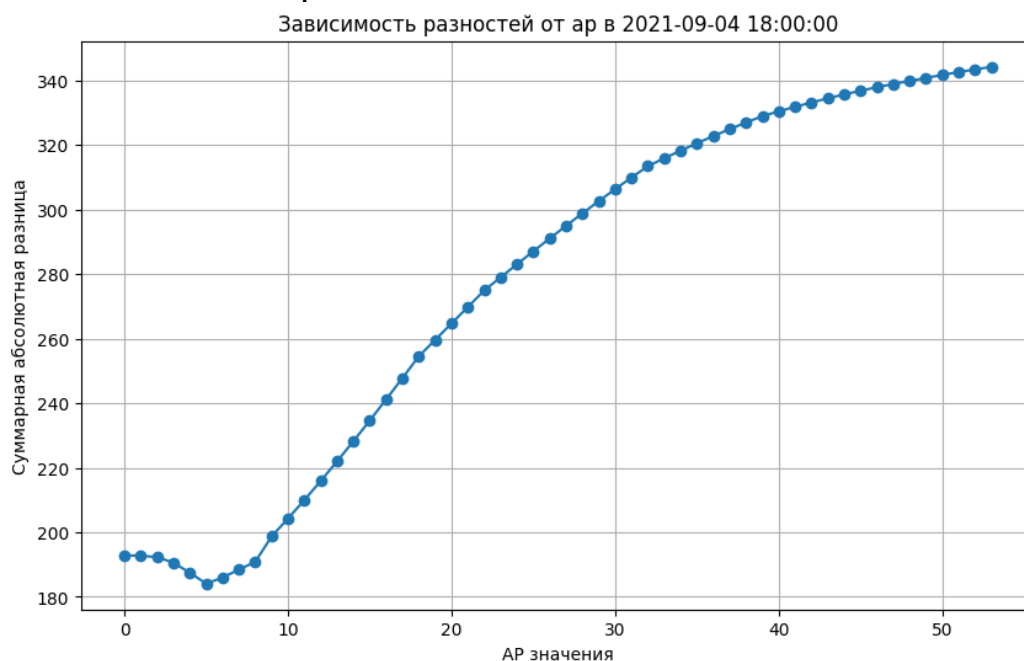


Рисунок 4. График значений ap и абсолютных разностей соответствующих модельных и измеренных скоростей нейтрального ветра

На рисунке 5 проводится сравнение реальных индексов для данного дня с выявленными в ходе перебора оптимального ар. В периоды дня, в которых не наблюдались свечения, сравнивать было не с чем. Тогда оставались реальные значения индексов.

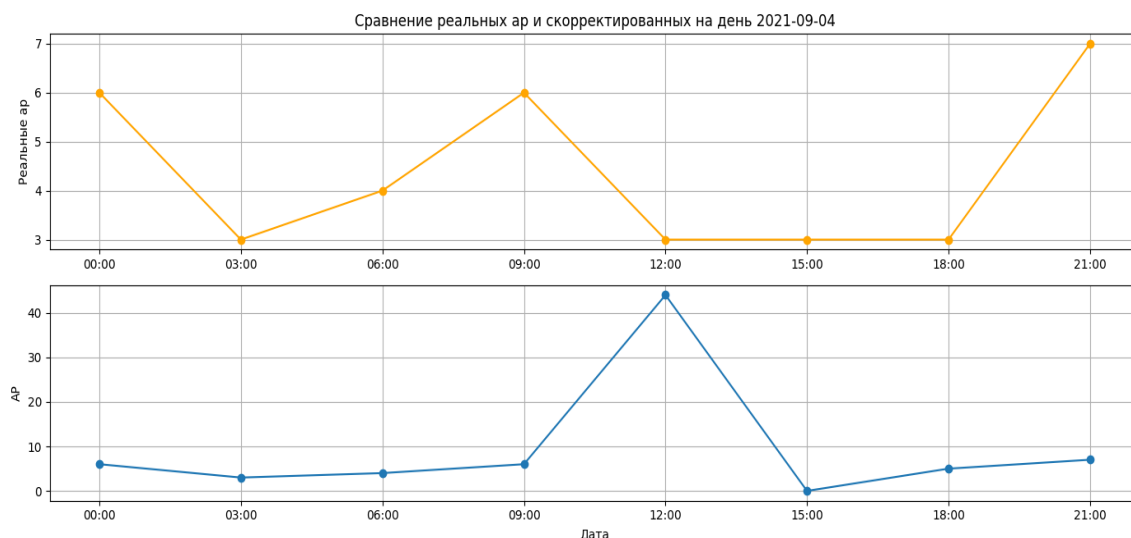


Рисунок 5. Сравнение реальных и скорректированных геомагнитных индексов в определённый день

В итоге с новыми параметрами вычислили скорости нейтрального ветра для всего месяца и сравнили с измеренными, построив графики, показанные на рисунке 6.

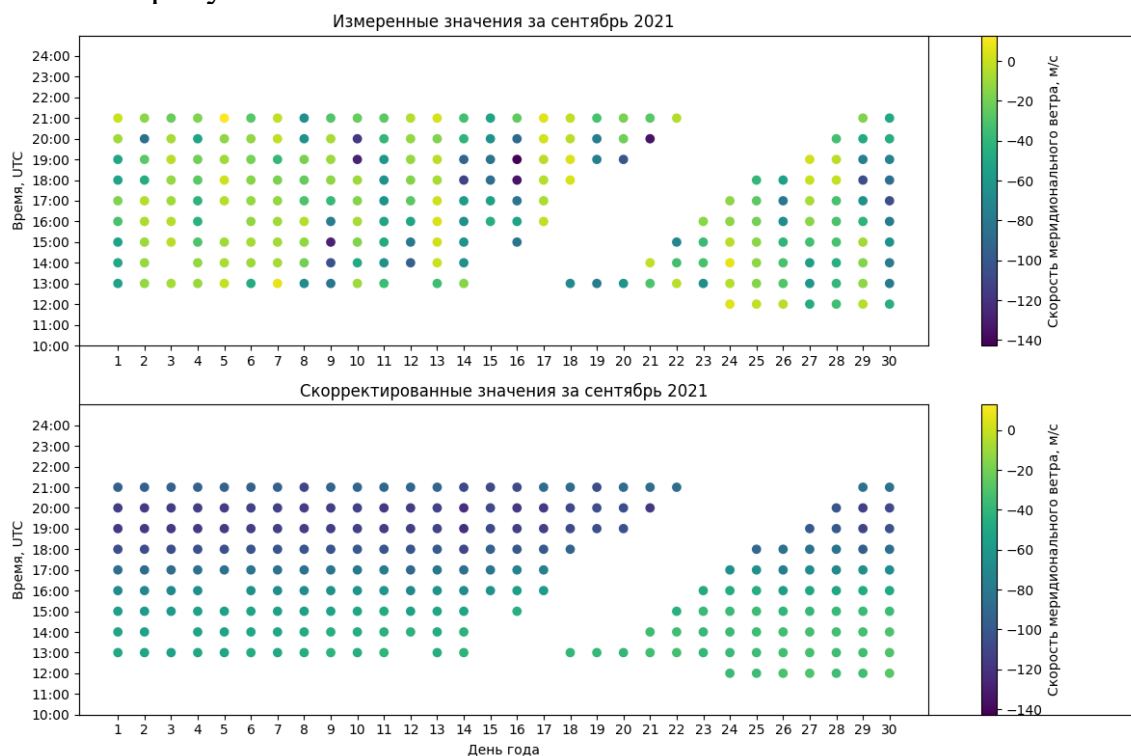


Рисунок 6. Сравнение реальных и скорректированных модельных значений скоростей меридионального ветра

В входных параметрах расчета нейтрального ветра указывается время в виде даты, широта и долгота, высота над уровнем моря, индекс солнечной активности f_{107} , среднее значение f_{107a} и геомагнитный индекс ap . Но в версиях HWM после 2003-го года разработчики отказались от учета индекса f_{107} , так как он оказывает незначительное влияние на расчеты в дневное время [7]. А наблюдения проводились в основном в ночное время, поэтому и были такие сильные расхождения.

Из-за отсутствия влияния в модели индексов солнечной активности и других параметров получилось приблизить модельные значения к измеренным лишь незначительно, что говорит о том, что изменение лишь геомагнитного индекса не приведет к коррекции модели к реальным результатам.

Заключение

В результате работы выяснились причины расхождения модели нейтрального ветра с реальными наблюдениями. Однако скорректировать модель так, чтобы она значительно приблизилась к измерениям, не удалось. Изменения одного доступного параметра в виде геомагнитного индекса не привели к удовлетворительным результатам. Поэтому необходимо разработать другой метод коррекции модели, чтобы в дальнейшем можно было более эффективно использовать ее в исследованиях ветра в верхних слоях атмосферы.

Список литературы

1. Васильев Р.В., Артамонов М.Ф., Белецкий А.Б., Жеребцов Г.А., Медведева И.В., Михалев А.В., Сыренова Т.Е. Регистрация параметров верхней атмосферы Восточной Сибири при помощи интерферометра Фабри—Перо KEO Scientific «Arinae». Солнечно-земная физика. 2017. Т. 3, № 3. С. 70–87.
2. HWM14 - 2014 [Электронный ресурс] // Community Coordinate Modeled Center. Goddard Space Flight Center. NASA [сайт]. URL: <https://ccmc.gsfc.nasa.gov/models/HWM14~2014/>
3. Python interface for the Horizontal Wind Model 2014 (HWM14) [Электронный ресурс] // Github [сайт]. URL: <https://github.com/rilma/pyHWM14>
4. Колтышев А.Е. Науки о Земле, часть 2: Метеорология и Климатология, Гидрогеология суши. – СПб.: СПбГУ, 2009.
5. Дремухина Л. А., Лодкина И. Г., Ермолаев Ю. И. Связь параметров солнечного ветра разных типов с индексами геомагнитной активности в период 1995–2016 гг. // Космическая наука и технологии. 2018. Т. 41. С. 34
6. Атмосферное давление и ветры [Электронный ресурс] // magellian.education [сайт]. URL: <https://www.magellian.education/атмосферное-давление-и-ветры>
7. Drob, D. P., et al. (2008), An empirical model of the Earth's horizontal wind fields: HWM07, J. Geophys. Res., 113, A12304, doi:10.1029/2008JA013668.

Проект: Разработка устройства поджига для мониторинга состояния квантрона александритового лазера

Белоусов А.А., Фискин Е.М.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

belousov_sh@mail.ru, fmm@rambler.ru

Процессы горения конденсированных веществ представляют значительный практический интерес и находят широкое применение в различных областях, включая огнестрельное оружие, пиротехнические изделия, электродетонаторы при взрывных работах и другие технологии. Изучение процессов горения энергетических материалов также представляет значительный теоретический интерес, поскольку позволяет исследовать механизмы протекания химических реакций в экстремальных условиях высоких давлений и температур. Современные исследования в данной области включают применение лазерного инициирования горения и взрыва энергетических материалов. Лазерные технологии обладают рядом преимуществ перед традиционными методами инициирования: высокая точность, устойчивость к электромагнитным помехам и возможность дистанционного управления. В частности, лазерное инициирование может значительно повысить безопасность и снизить затраты при проведении взрывных работ, а также найти применение в ракетно-космической технике, горнодобывающей промышленности и других отраслях. Одним из перспективных направлений является использование твердотельных лазеров, таких как Nd:YAG и александритовый лазер (длина волны 755 нм), для поджига энергетических материалов. Твердотельные лазеры обеспечивают высокую мощность излучения, регулируемую длительность импульсов и компактные размеры, что делает их удобными для научных исследований и практического применения.

Введение

Целью проекта является разработка устройства для проверки работоспособности квантрона александритового лазера перед проведением ремонтных работ.

Электрические схемы ОКГ предназначены для накопления энергии и преобразование этой энергии в энергию мощных световых импульсов, которые необходимы для оптической накачки активного элемента.

Основные узлы электрической схемы ОКГ: накопители энергии, лампы накачки, устройства для управления зарядом и разрядом накопителей.

Функции схемы управления зарядом (рис.1) – включение источника питания, управление режимом заряда, отключение от сети при достижении заданного напряжения, поддержание напряжения на заданном уровне.

Основными узлами электрической схемы ОКГ являются: накопители энергии; лампы накачки; устройства управления зарядом и разрядом накопителей; система поджига ламп накачки.



Рисунок 1 – Функциональная электрическая схема устройства ОКГ

Система поджига ламп накачки в ОКГ должна учитывать особенности предионизации и триггерного генератора. Цепь предионизации обеспечивает плавный запуск лампы, предотвращая чрезмерные напряжения и увеличивая срок её службы. Триггерный разряд формирует высоковольтный импульс, который инициирует основной разряд в лампе. Эти процессы обеспечивают надежное и эффективное функционирование лазерной системы на основе александритового кристалла.

Принципы работы электрической схемы ОКГ – Электрическая схема оптического квантового генератора (ОКГ) основана на формировании мощных импульсов электрической энергии, необходимых для возбуждения ламп накачки и создания инверсной населённости в активной среде лазера. В классической схеме ОКГ используются три ключевых этапа:

Накопление энергии – осуществляется в конденсаторных батареях, которые заряжаются до необходимого уровня напряжения от высоковольтного источника.

Предионизация и запуск ламп накачки – используется высоковольтный триггерный разряд для инициирования основной дуги в ксеноновой лампе.

Разряд энергии через лампы накачки – в момент разряда накопленной энергии через лампу создаётся мощное световое излучение, обеспечивающее накачку активного элемента [1-2].

Наибольший интерес представляет схема накопителя энергии и формирования разрядного импульса (рис. 2). Она содержит емкостной накопитель, катушку индуктивности и импульсные лампы. Емкостной накопитель состоит из нескольких секций, каждая секция содержит два конденсатора, емкость одного конденсатора 40 мкФ. Мы используем только одну секцию (2 конденсатора), поэтому емкость равна 80 мкФ. Секции

соединены между собой через индуктивность. Индуктивность служит для формирования формы импульса.

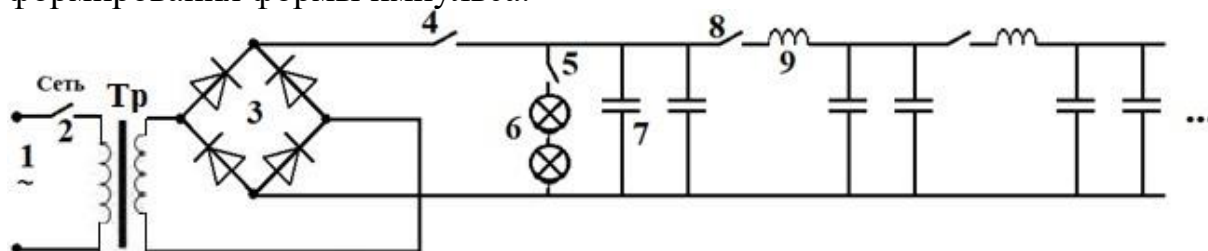


Рисунок 2 – Схема блока питания ламп-накачки:

1 – электрическая сеть; 2 – ключ включения блока питания в электрическую сеть «Сеть»; 3 – диодный выпрямитель; 4 – ключ включения заряда конденсатора «Вкл»; 5 – разрядный ключ «Поджиг»; 6 – ксеноновые лампы накачки; 7 – конденсатор; 8 – перемычка; 9 – катушка индуктивности.

Описание электрической схемы

Напряжение сети 220 В подается на трансформатор (ключ включения блока питания в электрическую сеть «Сеть»), затем напряжение подается на выпрямительный диодный мост. После выпрямления ток идет на накопительные конденсаторы, которые заряжаются (ключ включения заряда конденсатора «Вкл»). После того как конденсаторы зарядились, замыкаем лампы (5 – разрядный ключ «Поджиг»), в этот момент начинают разряжаться конденсаторы и происходит вспышка ламп.

Эта схема хороша тем, что позволяет отключать отдельные секции накопителей. Тем самым позволяя регулировать длительность импульса. Электрические схемы оптических квантовых генераторов (ОКГ) предназначены для накопления энергии и её преобразования в мощные световые импульсы, необходимые для оптической накачки активного элемента лазера [3].

Расчет элементной базы

Разрабатываемое устройство поджига предназначено для стабильного и надежного возбуждения импульсной ксеноновой лампы, применяемой в составе оптического квантового генератора (ОКГ) с активным элементом на основе александритового кристалла (длина волны излучения – 755 нм). В основе устройства лежит однотактный повышающий импульсный стабилизатор, обеспечивающий высоковольтный импульс до 20 кВ для инициации разряда в лампе накачки (рис. 3).

Устройство обладает следующими характеристиками

- 1.Источник питания 220 В
- 2.Выпрямительный блок
- 3.Импульсный преобразователь (однотактный стабилизатор)
- 4.Цепь зарядки накопительных конденсаторов
- 5.Предионизационная цепь

6.Триггерный генератор высокого напряжения

7.Ксеноновая лампа накачки

8. Силовой ключ (тиристорный разрядник)

Основные технические параметры:

- Входное напряжение: 220 В

- Выходное напряжение: до 20 кВ

- Выходной ток: до 100 мкА

- Выходная мощность: до 2 Вт

- Рабочее напряжение лампы: 350–1000 В

- Импульсная мощность лампы: до 5000 Вт

-Триггерный импульс: не менее 20 кВ

Работа устройства основана на накоплении энергии в конденсаторной батарее с последующим управляемым разрядом через лампу накачки. Перед основным разрядом осуществляется предионизация газа в лампе, что снижает пробойное напряжение и обеспечивает стабильное зажигание. Для инициирования основного дугового разряда используется высоковольтный импульс от триггерного трансформатора.

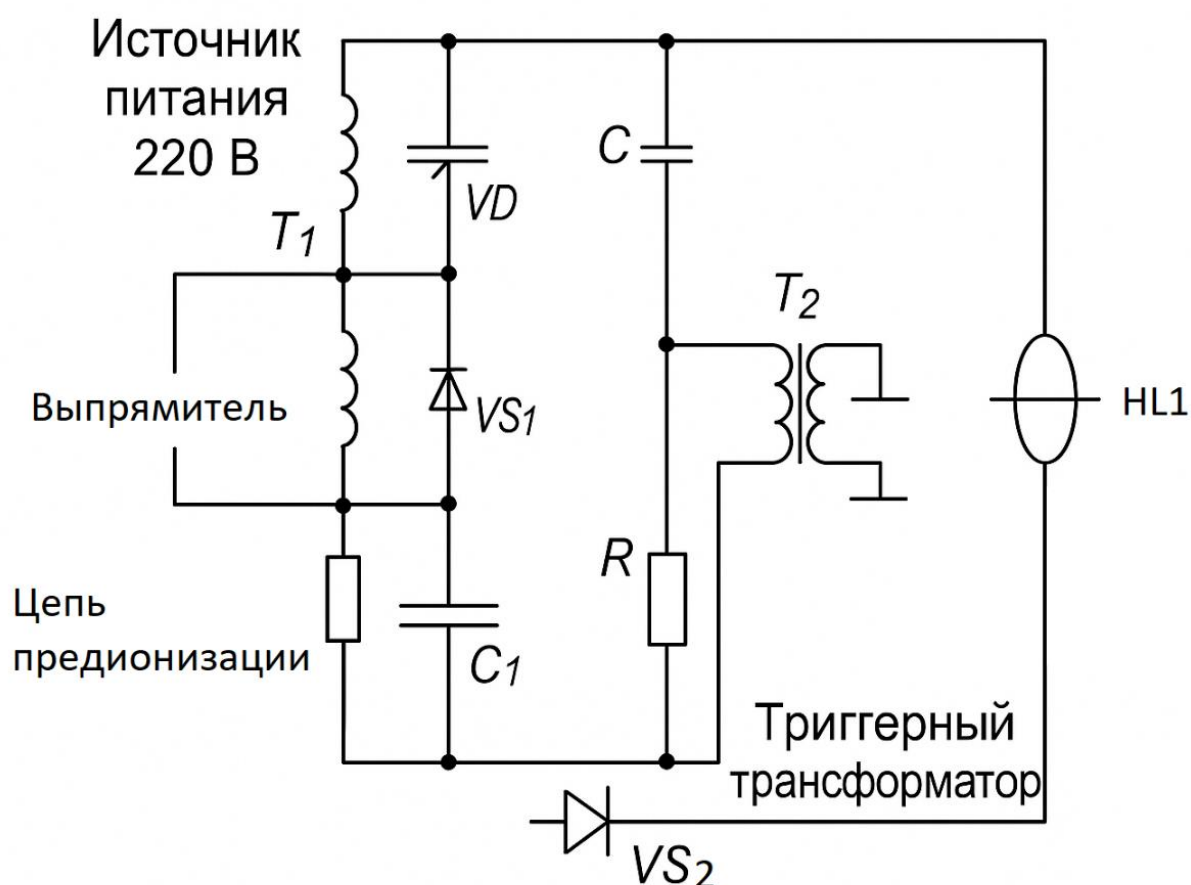


Рисунок 3 – Упрощённая принципиальная электрическая схема устройства поджига ксеноновой импульсной лампы для алесандритового лазера

Таблица 1

Элементная база устройства

Наименование элемента	Условное обозначение	Тип/параметры
Трансформатор сетевой	T1	Вход 220 В / выход 350–500 В
Диодный мост выпрямителя	VD1–VD4	1N5408 (1000 В, 3 А)
Импульсный преобразователь	Q1	MOSFET/IGBT (600–1000 В, 20 А)
Конденсаторы накопительные	C1, C2	40 мкФ, 1000 В (в параллель)
Катушка индуктивности	L1	100–500 мкГн
Тиристор/разрядный ключ	VS2	KU202 или BT152
Триггерный трансформатор	T2	Выходное напряжение до 20 кВ
Ксеноновая лампа	HL1	Импульсная, 350–1000 В, до 5 кВт
Резисторы развязки и защиты	R1, R2	10–100 Ом, 5 Вт
Управляющий контроллер (опц.)	U1	NE555 или STM32

Для обеспечения надежной и стабильной работы системы поджига импульсной ксеноновой лампы разрабатывается принципиальная электрическая схема. Она включает в себя следующие функциональные блоки:

1. Источник питания 220 В – обеспечивает подачу переменного напряжения на устройство.

2. Выпрямительный блок – преобразует переменное напряжение в постоянное. Применяется диодный мост, рассчитанный на ток до 3 А и напряжение до 1000 В.

3. Импульсный преобразователь – представляет собой одноканальную схему с использованием MOSFET/IGBT-транзистора. Преобразует постоянное напряжение в высокочастотное импульсное для зарядки накопителей.

4. Конденсаторная батарея – служит для накопления энергии. Емкость рассчитывается по формуле:

$$E = (1/2) * C * U^2, \text{ где } E - \text{энергия, } C - \text{емкость, } U - \text{напряжение.}$$

Для накопления энергии 20 Дж при напряжении 1000 В емкость $C \approx 40$ мкФ. Используются два конденсатора по 40 мкФ, соединённые параллельно.

5. Катушка индуктивности – ограничивает скорость нарастания тока, формирует форму импульса. Расчетная индуктивность – от 100 до 500 мкГн.

6. Предыонизационная цепь – предварительно ионизирует газ в лампе, снижая напряжение пробоя. Создает импульс до 200 В.

7. Триггерный трансформатор – генерирует высоковольтный импульс до 20 кВ, необходимый для инициации разряда в лампе.

8. Силовой ключ (тиристор) – управляет подачей накопленной энергии на лампу накачки. Включается сигналом с управляющей схемы.

9. Ксеноновая лампа – основная нагрузка, преобразует энергию разряда в мощный световой импульс.

Согласованная работа всех блоков обеспечивает стабильное воспламенение ксеноновой лампы и эффективную накачку активного элемента лазера.

В расчётной части проводится определение параметров основных элементов устройства поджига, предназначенного для запуска импульсной ксеноновой лампы, используемой в системе накачки александритового лазера.

Цель расчётов — подбор номиналов элементов схемы, обеспечивающих выходные параметры: напряжение до 20 кВ, ток до 100 мкА и выходную мощность до 2 Вт.

1. Расчёт энергии, запасаемой в накопительном конденсаторе: Формула для расчёта энергии в конденсаторе: $E = (1/2) * C * U^2$,

Где E — энергия в джоулях,

C — ёмкость в фарадах,

U — напряжение заряда в вольтах.

Пусть $U = 1000$ В, $E = 20$ Дж, тогда:

$$C = 2E / U^2 = 2 * 20 / (1000^2) = 40 * 10^{-6} \text{ Ф} = 40 \text{ мкФ}.$$

Для увеличения запаса энергии можно использовать два параллельно соединённых конденсатора по 40 мкФ, что даст общую ёмкость 80 мкФ и энергию 40 Дж.

2. Расчёт тока триггерного разряда: Формула мощности:

$$P = U * I \rightarrow I = P / U,$$

где:

$$P = 2 \text{ Вт},$$

$$U = 20000 \text{ В},$$

$$I = 2 / 20000 = 0.0001 \text{ А} = 100 \text{ мкА}.$$

Таким образом, ток триггерного разряда составляет 100 мкА при напряжении 20 кВ.

3. Напряжение предионизации:

Для стабильного запуска лампы используется цепь предионизации, обеспечивающая напряжение в пределах 10–20% от рабочего напряжения лампы:

$$U_{\text{пред}} = 0.1 \dots 0.2 * U_{\text{раб}} = 0.1 \dots 0.2 * 1000 \text{ В} = 100 \dots 200 \text{ В}.$$

Данное напряжение позволяет предварительно ионизировать газ в лампе, снижая напряжение пробоя и улучшая стабильность запуска.

4. Выбор индуктивности:

Индуктивность формирует форму тока и ограничивает скорость нарастания импульса. Принимаем длительность импульса $t = 50\text{--}100$ мкс. Для выбора индуктивности используем приближённую формулу: $L = U * t / I$,

где U — напряжение (1000 В), t — время нарастания (50 мкс), I — ток (10 А, условно). $L = 1000 * 50 * 10^{-6} / 10 = 5$ мГн. Принимаем $L = 100\text{--}500$ мкГн

с запасом по току.

5. Выбор тиристора: Тиристор должен выдерживать пиковый ток и напряжение. Рассчитаем пиковый ток при разряде: $I = U / R$, если принять $R = 1 \text{ Ом}$, то $I = 1000 / 1 = 1000 \text{ А}$ —импульсный ток. Выбираем тиристор, рассчитанный на кратковременный импульсный ток до 1000 А и рабочее напряжение не менее 1000 В. Подходит тиристор KU202 (800 В, 12 А) или BT152 (1000 В, 20 А).

6. Расчёт коэффициента трансформации триггерного трансформатора: Необходимо получить импульс до 20 кВ при напряжении на первичной обмотке 200 В. Коэффициент трансформации: $n = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}} = 20000 / 200 = 100$. Триггерный трансформатор должен иметь надёжную изоляцию и короткое время нарастания импульса.

7. Расчёт тепловых потерь и КПД: Тепловые потери в элементах (резисторах, диодах, ключах) оцениваются по формуле: $P_{\text{потерь}} = I^2 * R$. При $I = 10 \text{ А}$, $R = 1 \text{ Ом}$, $P = 100 \text{ Вт}$ (импульсная нагрузка). Потери уменьшаются за счёт применения коротких импульсов, использования низкоомных резисторов и качественных проводников с минимальной индуктивностью.

Таблица 2

Расчётные параметры элементов схемы поджига

Элемент	Формула/параметр	Значение	Примечание
Конденсатор С	$C = 2E / U^2$	40 мкФ	При $U = 1000 \text{ В}$, $E = 20 \text{ Дж}$
Ток триггера I	$I = P / U$	100 мкА	$P = 2 \text{ Вт}$, $U = 20 \text{ кВ}$
Предионизация	$U_{\text{пред}} = 0.1 \dots 0.2 * U_{\text{раб}}$	100–200 В	От 10% до 20% от 1000 В
Индуктивность L	$L = U * t / I$	100–500 мкГн	$t = 50\text{--}100 \text{ мкс}$, $I \approx 10 \text{ А}$
Тиристор	$I_{\text{пик}} = U / R$	до 1000 А	При $R = 1 \text{ Ом}$, $U = 1000 \text{ В}$
Трансформатор	$n = U_{\text{вых}} / U_{\text{вх}}$	$n = 100$	$U_{\text{вх}} = 200 \text{ В}$, $U_{\text{вых}} = 20 \text{ кВ}$

Заключение

Проведённые расчёты подтверждают возможность реализации схемы поджига с заданными параметрами. Тщательный подбор элементов обеспечивает стабильную работу схемы, минимизирует потери энергии и увеличивает срок службы всей лазерной системы. Применение схемы с однотактным импульсным стабилизатором, цепью предионизации и высоковольтным триггерным трансформатором позволяет обеспечить надёжный и воспроизводимый запуск импульсной ксеноновой лампы.

Список литературы

1. Звелто О. "Принципы лазеров" — СПб.: Лань, 2008 – 720 с.
2. Тарасов Л.В. "Физика процессов в генераторах когерентного оптического излучения" — М.: Радио и связь, 1981 – 440 с.
3. Климков Ю.М., Хорошев М.В. Лазерная техника: Учебное пособие – М.: МИИГАиК, 2014. – 143 с.: ил.

Влияние всплесков солнечного радиоизлучения и магнитных бурь на регистрацию сигналов ГНСС во время события мая 2024 г.

И.В. Билдаев, А.Б. Ишин

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

iamilia5225@gmail.com, ishin,artem@yandex.ru

На сегодняшний день без навигационных систем сложно представить работу отраслей, где требуется точное позиционирование объектов или территорий. Космическая погода может отрицательно влиять на сигналы спутников, создавая ошибки в информационной составляющей сигнала, снижая точность определения координат. Возникновение ошибок удалось зафиксировать в данной статье. С помощью программной обработки данных GPS и ГЛОНАСС проанализирована зависимость возникающих сбоев от сильнейшей геомагнитной активности и вспышек на Солнце в мае 2024 г.

Ключевые слова: ионосфера, ПЭС, ГНСС, validity

Введение

Предметом исследования в данной работе является устойчивость сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) к воздействию солнечной активности уровня G5. Вспышки на Солнце класса X и корональные выбросы массы (КВМ) в сторону Земли привели к геомагнитной буре 10 мая 2024 года. Буря продлилась 3 дня и приобрела пиковое значение индекса геомагнитной возмущенности $K_p = 9$, в следствии чего наблюдались искажения спутниковых сигналов, которые зафиксировали приемники [1]. Магнитные бури могут менять концентрацию электронов в ионосфере, влиять на однородность ионосферного слоя, через который проходят сигналы ГНСС [2].

Из-за проблемы точного позиционирования с помощью навигационных систем во время солнечной активности, возникает задача изучить её влияние. Существующие шумы в частотном диапазоне принимаемого сигнала спутника, могут усиливаться во время вспышек на Солнце и ослаблять сигнал на несущей GPS-частоте 1545.42 МГц [4], а искажения несущего сигнала из-за неоднородности ионосферы повышают плотность сбоев в системе GPS, ГЛОНАСС [3].

Существует много работ, посвященных изучению устойчивости сигналов спутников во время солнечной активности [3,4]. В данной работе анализируются данные наземных приемников ГНСС для обнаружения сбоев в параметрах сигналов во время геомагнитной возмущенности 11 мая 2024 г.

Исследуемое событие

Солнечная активность в мае 2024 г., а именно пятна на Солнце и несколько вспышек с максимальным значением уровня интенсивности X5,8

привели к выбросу корональной массы [5]. Солнечный ветер достиг планеты 10 мая 2024 года примерно в 18:00 по UTC+03. Значение индекса глобальной возмущённости геомагнитного поля достигло пикового значения ($K_p = 9$) 11 мая и держалось целые сутки [6]. Спад активности поля пришелся на 13 мая, это хорошо видно на гистограмме ниже.



Рисунок 1 – Графики солнечной и геомагнитной активности.

Слева пиковые значения интенсивности рентгеновского излучения: $X_{2,2}$; $X_{3,9}$; $X_{5,8}$. Справа гистограмма геомагнитного возмущения, ниже графики изменения индекса DST за 10 и 11 мая

Disturbance Storm Time (Dst) индекс, который показывает изменение геомагнитного поля на Земле во время магнитной бури 11 мая ушел в отрицательные значения и достиг -412 нТл (Рис.2). Он является отрицательным, потому что магнитное поле слабеет из-за увеличения кольцевого тока [7], который образуется в магнитосфере в период магнитных бурь. Чем ниже DST, тем сильнее геомагнитная буря.

Геомагнитные условия в период с 9 по 13 мая стремительно менялись и не могли не повлиять на работу спутниковых систем GPS и ГЛОНАСС. Во время геомагнитной бури в ионосферу (особенно в F-слой атмосферы, 150–400 км) вбрасывается большое количество энергичных частиц, что приводит к образованиям ионосферных пузырей, градиентов плотности и вариации полного электронного содержания (ПЭС) [8]. Из этого следует изменение показателя преломления (1), которое влияет на фазовую задержку сигнала, изменяя скорость его распространения.

$$n = \sqrt{1 - \frac{f_p^2}{f^2}}, (1)$$

где n – показатель преломления ионосферы (безразмерная величина, показывает, во сколько раз скорость радиоволны в ионосфере меньше, чем в вакууме), f – частота радиосигнала и f_p – плазменная частота (2), на которой электроны плазмы колеблются в ответ на электромагнитное поле, в герцах)

$$f_p = \sqrt{\frac{N_e e^2}{\pi m_e}}, (2)$$

где N_e – концентрация электронов в ионосфере на m^{-3} .

Таким образом, если $f \gg f_p$, то $n \approx 1$, и ионосфера почти не влияет на распространение. Когда f приближается к значению f_p и n уменьшается, фазовая скорость волны растет, создавая задержку сигнала. В случае $f < f_p$, радиоволна отражается или поглощается, создавая эффект «отсечки» частоты [9].

Инструмент исследования устойчивости ГНСС сигналов

В основе изучения устойчивости параметров GPS и ГЛОНАСС сигналов лежит метод обработки и анализа RINEX данных, которые фиксируют приемники. В результате обработки данных программа TEC-suite формирует текстовые файлы [10] со значениями: tsn, hour, el, az, tec.l1l2, tec.p1p2, validity. Чтобы оценить устойчивость параметров сигналов, из файлов были взяты validity – 17-битный флаг качества данных и hour – время в часах от начала суток (UTC). Каждый бит в validity соответствует конкретному параметру (LLI5, S5, L5 и др.), и его значение 1 или 0 указывает на возможный сбой (Табл. 1). Всего 17 параметров, по которым производится анализ:

- 1) LLI1, LLI2, LLI5 (loss of lock indicator) – флаг, указывающий на возможную потерю синхронизации с сигналом L1, L2, L5;
- 2) S1, S2, S5 – уровень мощности сигнала на частотах L1, L2 и L5 (обычно в дБ-Гц), измерения SNR;
- 3) L1, L2, L5 – фазовые измерения на частотах L1, L2, L5 (в циклах);
- 4) C1, C2, C5 – измерения псевдодальности по коду на частоте сигнала L1, L2C, L5 (в метрах);
- 5) D1, D2, D5 – измерения доплеровского сдвига на частоте L1, L2, L5 (Гц); P1, P2 – точная псевдодальность по Р-коду на частоте L1, L2;

Таблица 1 – Преобразование одного из возможных состояний validity

Validity	LLI5	S5	L5	C5	C2	D5	D2	D1	S2
57344	0	1	1	1	0	0	0	0	0
	S1	P2	P1	L2	L1	C1	LLI2	LLI1	
	0	0	0	0	0	0	0	0	

Из таблицы 1 видно, что значения S5, L5, C5 не надежны, так как в столбце не нулевой бит, а единичный.

Статистика по количеству значений validity за сутки может быть необъективной, если GPS или ГЛОНАСС приемники работали в разной зоне видимости спутников. Поэтому мы ввели нормированную метрику — процент приемников, у которых наблюдались сбои по каждому из 17 параметров. Это позволяет оценить распространенность сбоев независимо от числа спутников в зоне видимости.

$$\%S5 = \left(\frac{\text{количество сбоев по } S5}{\text{общее число приемников}} \right) \times 100, (3)$$

где количество сбоев по S5 — число приемников, у которых в validity был установлен бит, соответствующий параметру S5, общее число приемников — количество активных устройств в анализируемый момент времени.

Результаты исследования

В результате обработки RINEX-файлов с помощью программы TEC-suite и постобработки программой для оценки распространенности сбоев были получены статистические данные о качестве сигналов GPS/ГЛОНАСС за выбранные сутки. Для выявления корреляции с геомагнитной возмущенностью и вспышками на Солнце было выбрано 11 мая (131 день в году), из-за вспышки со значением уровня интенсивности X5,8 и магнитной бури с индексом глобальной возмущенности геомагнитного поля Kp = 9.

Для наглядного представления временной динамики были построены графики зависимости процентного соотношения сбоев по ключевым параметрам (S, P, LLI, L) от времени суток:

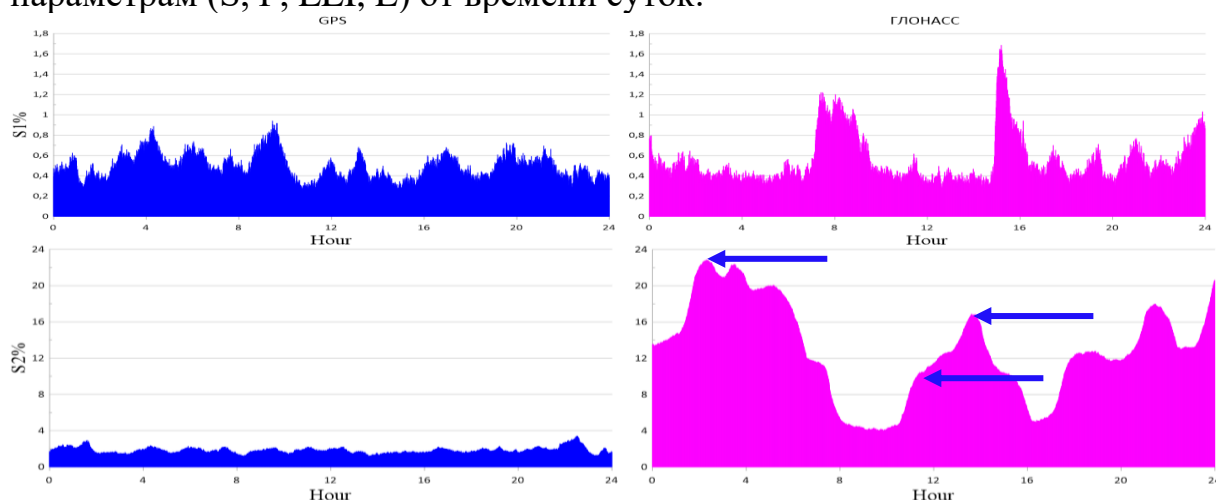


Рисунок 2 – Процентное соотношение сбоев S1, S2 по времени
Спутники GPS и ГЛОНАСС.

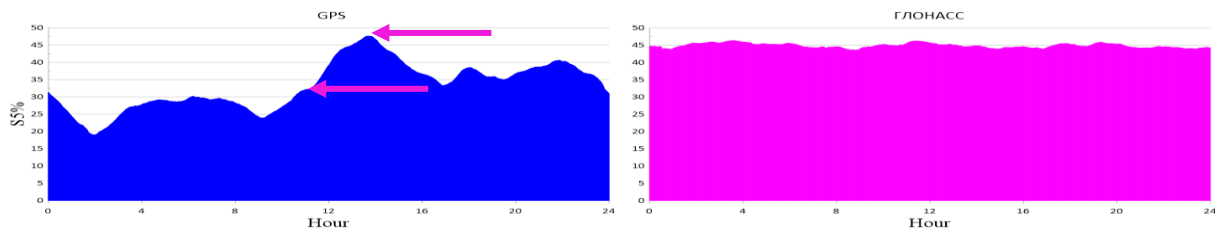
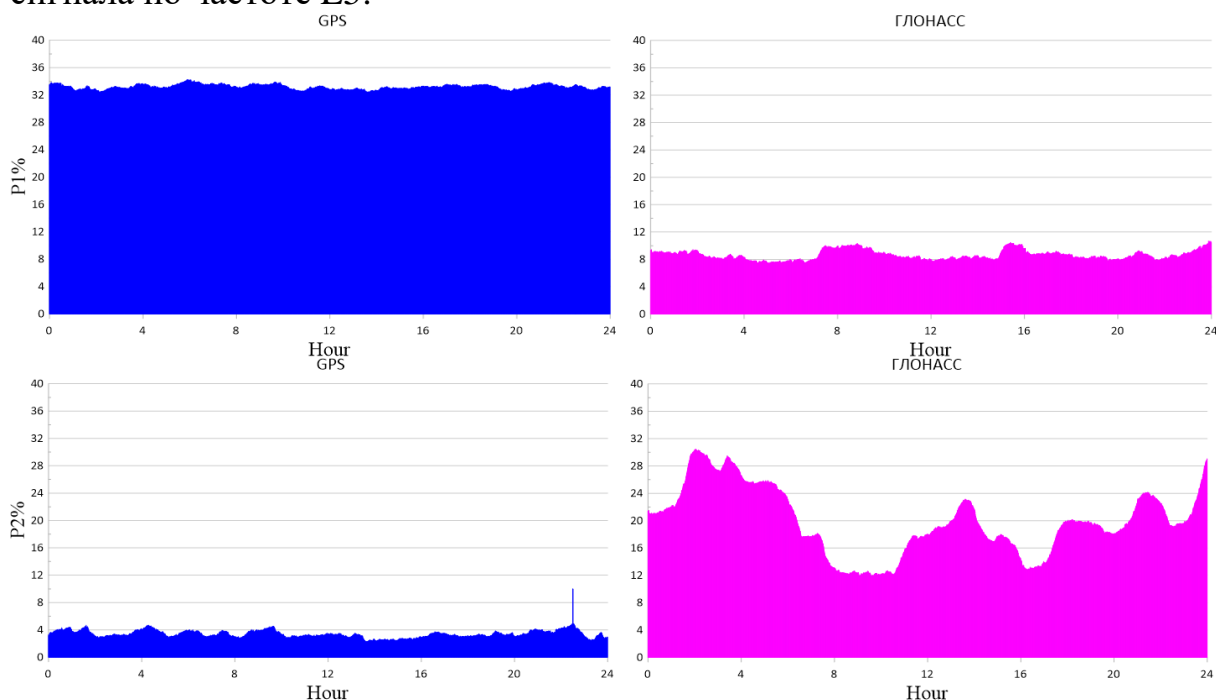


Рисунок 3 – Процентное соотношение сбоев S5 по времени

На первом графике (рис.3) видно, что не более 2% от всех приемников зафиксировали ненадежное измерение по параметру S1. Корреляции с изучаемым событием (рис.1) не замечено.

На втором графике напротив, виден значительный рост процентного соотношения по S2 – ГЛОНАСС, явно выраженная корреляция (указана стрелками) по всем трём максимальным вспышкам: в 01:23 -X5,8; в 11:44 – X1,5; в 15:25 – M8,8 (по UTC).

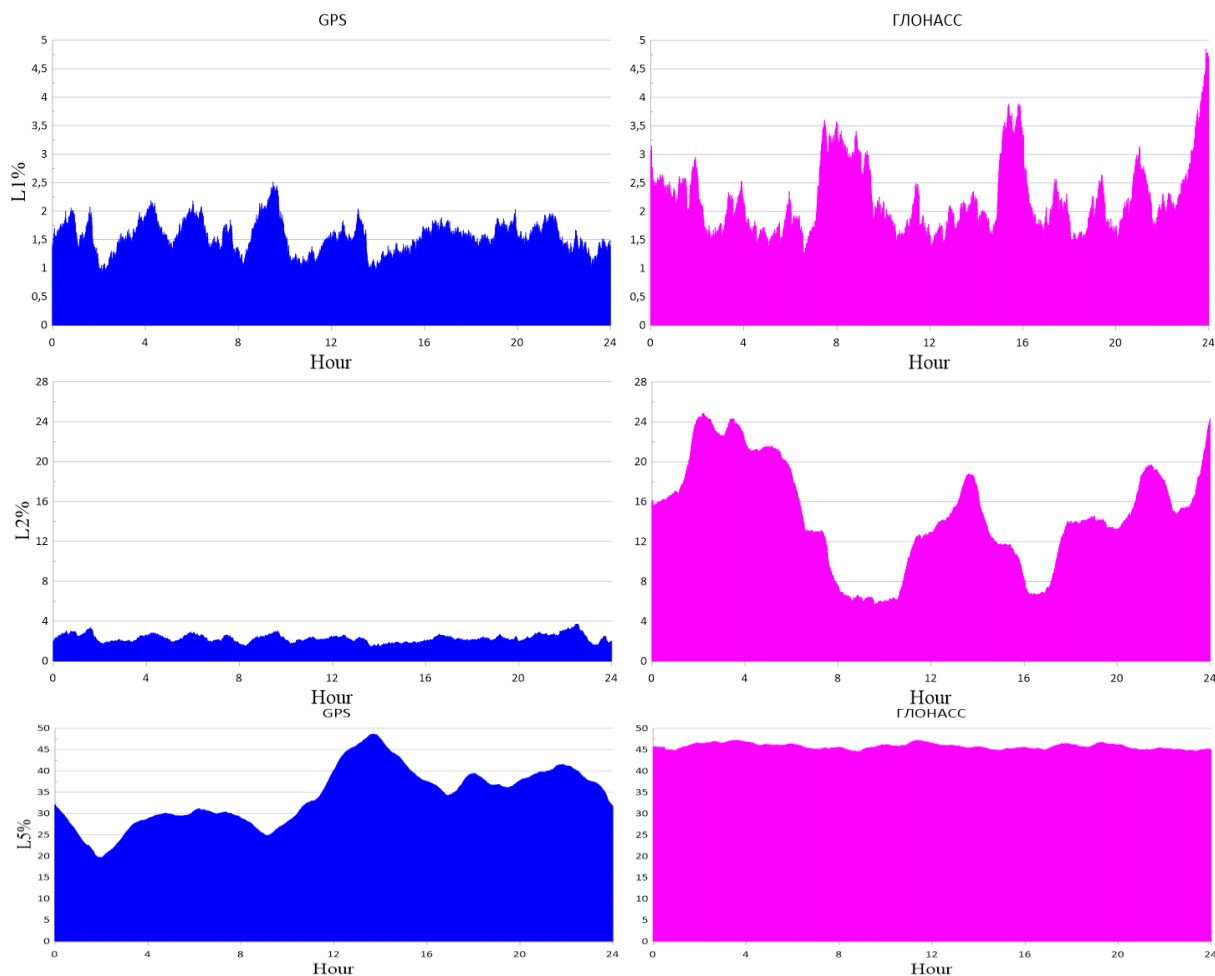
На третьем по S5 у GPS нет корреляции с первой вспышкой, но появляется к остальным значениям максимальной интенсивности солнечного излучения. Также нужно отметить, что более 45% приемников GPS и ГЛОНАСС принимали ненадежные измерения уровня мощности сигнала по частоте L5.



*Рисунок 4 - Процентное соотношение сбоев P1, P2 по времени
Спутники GPS и ГЛОНАСС*

На первом графике (рис.4) значение соотношения по P1 достигло 35% у GPS, ГЛОНАСС значительно меньше – 10%.

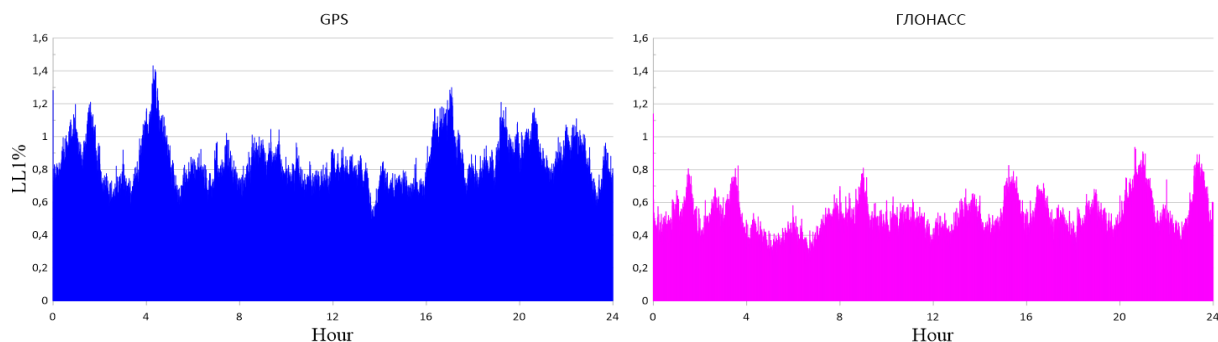
Для параметра P2 регистрируется относительно низкий уровень сбоев у GPS - до 4%, тогда как у ГЛОНАСС в среднем более 10%, а в отдельные моменты более 25%.



*Рисунок 5 – Процентное соотношение сбоев L1, L2, L5 по времени
Спутники GPS и ГЛОНАСС*

Динамика (рис.5, 6) показателей L схожа с показателем S. Низкий процент приемников зафиксировали сбой на первой частоте. На L2 у ГЛОНАСС процент варьируется от 24% до 7%, когда у GPS эта разница уже с 50% до 20%.

Последний показатель, который проанализирован в данной статье – это LL1. Процент сбоев не значителен по двум ГНСС



*Рисунок 6 - Процентное соотношение сбоев LL1 по времени
Спутники GPS и ГЛОНАСС*

Заключение

Проведенный анализ устойчивости сигналов ГНСС в мае 2024 года выявил значительное влияние солнечной активности (вспышки X5,8; X1,5; M8,8). Как отмечают Дёмин А.В. и Смирнов В.М., падение SNR на частотах L2 и L5 (до 23% и 45% соответственно) связано с усилением ионосферного поглощения [11]. Особенно критичным стало снижение точности позиционирования на частоте L5, что может существенно влиять на авиационную навигацию и геодезию.

В среднем 30% ненадежных измерений P1 и P2 псевдодальности с использованием P – кода могут повлиять на компенсацию ионосферных задержек и ослабить помехоустойчивость и надежность на частоте L1 и L2 у обоих ГНСС.

В работе «GPS-мониторинга ионосферных возмущений» Афраимовича Э. Л. и Переваловой Н.П. [12] отмечено, что фазовые измерения L1 и L2 наиболее чувствительны к быстрым вариациям TEC. Циклические сдвиги на этих частотах прямо указывают на неоднородность ионосферы. Фазовые измерения L2 по второй частоте у GPS устойчивей на 20%, чем у ГЛОНАСС. Измерения L5 в течении суток были ненадежными в среднем на 35% – GPS и 45% – ГЛОНАСС.

Авторы статьи «Влияние ионосферных возмущений на точность GNSS-измерений» утверждают, что биты LLI в RINEX-файлах являются критически важными для обнаружения циклических сдвигов (cycle slips), которые часто возникают при резких изменениях полного электронного содержания (TEC). В данной работе сбои по показателям LLI не превышают 1,6%.

Таким образом, хотелось бы отметить закономерность в результатах исследования. Солнечная активность в мае 2024 года, повлияла на достоверность измерений практически на всех основных частотах систем навигации и позиционирования. GPS была более устойчива на второй частоте, но на первой и пятой всегда наблюдался рост сбоев. ГЛОНАСС хорошо показал себя на первой частоте, но претерпел возникновение ошибок на второй и пятой частоте.

Список литературы

1. "Extreme" and very rare G5-level solar storm hits Earth on Saturday. Режим доступа URL: <https://www.earth.com/news/extreme-rare-g5-level-geomagnetic-storm-highest-level-hits-earth/> (дата обращения 25.05.2025)
2. Эдемский И.К., Ясюкевич Ю.В. Auroral Oval Boundary Dynamics on the Nature of Geomagnetic Storm. Иркутск: Институт солнечно-земной физики СО РАН, 2022. 21 том
3. Белаховский В.Б., Будников П.А., Калишин А.С., Пильгаев С.В., Ролдугин А.В. Влияние геомагнитных возмущений на сцинтилляции сигналов ГЛОНАСС и GPS спутников по данным наблюдений на Кольском

полуострове. Апатиты: Изд-во Полярный геофизический институт, 2023. – 198 с.

4. Губенко В.Н, Кириллович И.А., Андреев В.Е. Изучение влияния магнитных бурь в марте и июне 2015 года на нижнюю ионосферу Земли по данным анализа радиозатменных измерений. Фрязино: Изд-во Фрязинский филиал ИПЭ им. В.А. Котельникова РАН, 2024. – 213 с.

5. Кичигин Г.Н., Кравцова М.В., Сдобнов В.Е. Условия прихода солнечных энергичных протонов на землю после мощных вспышек на Солнце. Иркутск: Институт солнечно-земной физики СО РАН, 2022. 8 том. №3 – 24 с.

6. Лаборатория солнечной астрономии ИКИ и ИСЗФ. Режим доступа URL: https://xras.ru/forecast_activity.html/moscow/ (дата обращения 29.05.2025)

7. World Data Center for Geomagnetism, Kyoto. Режим доступа URL: https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/dst_provisional/202405/index.html (дата обращения 30.05.2025)

8. Рубцов А.В., Малецкий Б.М., Данильчук Е.И. Возмущения ионосферы над восточной сибирью во время геомагнитных бурь 12-15 апреля 2016 г.: // Солнечно-земная физика, 2020. Т. 6. № 1, - 75 с.

9. Алперт Я.Л. Распространение электромагнитных волн и ионосфера. Москва: М.: Наука, 1972. – 564 с.

10. Tec-suite. Режим доступа URL: <https://tec-suite.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения 01.06.2025)

11. Демин А.В., Смирнов В.М. Мониторинг качества GNSS-сигналов в условиях высокоширотных ионосферных возмущений // Радиотехника и электроника, 2019, Т. 64, № 8, – 834–842 с.

12. Афраимович Э.Л., Первалова Н.П. GPS-мониторинг ионосферных возмущений. Москва: ИЗМИРАН, 2008 – 324 с.

Разработка детектора аэрозоля на базе лазерного датчика и микроЭВМ Raspberry Pi

Гусаков С.И.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

Иркутск, Россия

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

johnichek05@gmail.com

Приводятся данные мониторинга аэрозольных частиц с использованием системы, основанной на лазерном датчике SPS30 и микрокомпьютере Raspberry Pi. Современные микроЭВМ, такие как Raspberry Pi, вместе с точными датчиками открывают хорошие возможности для создания распределения сетей мониторинга. В данной работе представлено, как разработали и протестировали детектор аэрозолей. Подробно описаны методы обработки данных и способ их визуализации. Результаты показывают, что это решение позволяет не только отслеживать фоновые показатели качества воздуха, но и регистрировать кратковременные изменения, связанные с различными атмосферными процессами.

Введение

Современные системы мониторинга аэрозольных частиц требуют точного измерения концентрации частиц различных фракций, включая PM1.0 (0.3-1.0 мкм), PM2.5 (0.3-2.5 мкм), PM4.0 (0.3-4.0 мкм) и PM10 (0.3-10 мкм). В данной работе представлена реализация системы мониторинга на базе лазерного датчика SPS30 и микрокомпьютера Raspberry Pi, обеспечивающая одновременное измерение массовой концентрации частиц по четырем фракциям с диапазоном измерений 0-1000 мкг/м³ и частотой опроса до 1 Гц.

Методика эксперимента

Для проведения измерений была развернута система на базе Raspberry Pi, к которой подключен датчик аэрозолей SPS30. Датчик обеспечивает измерение массовой концентрации частиц (PM1.0, PM2.5, PM4.0, PM10), их количества и среднего размера. Основные этапы работы включали:

В ходе исследования последовательно выполнялись следующие этапы: установка специализированной операционной системы на Raspberry Pi с оптимизацией параметров для работы с датчиками, настройка безопасного удаленного доступа по SSH для управления системой, подключение датчика SPS30 через интерфейс I2C с обеспечением стабильного соединения, а также разработка многофункционального программного обеспечения на Python для сбора данных и их визуализации.

Программный код включает функции для чтения данных с датчика, проверки контрольных сумм, преобразования данных в удобный формат и

сохранения результатов. Данные собираются с периодичностью 2 секунды и передаются в реальном времени на сервер для дальнейшего анализа.

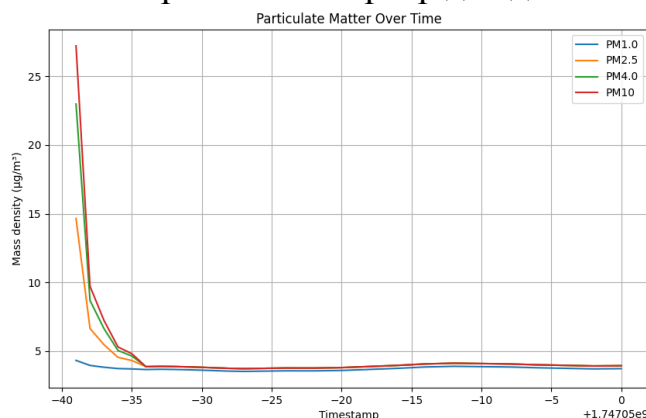


Рисунок 1. Основной график концентрации частиц во времени. Изменение концентрации частиц PM1.0, PM2.5, PM4.0 и PM10 в воздухе (в микрограммах на кубический метр) в зависимости от времени.

Представлены изменения концентрации аэрозольных частиц различных фракций (PM1.0, PM2.5, PM4.0, PM10) в течение времени. График демонстрирует как фоновые колебания, так и резкие всплески концентрации, которые могут быть связаны с локальными источниками загрязнения или атмосферными процессами.

Результаты

В ходе эксперимента были получены данные о концентрации аэрозолей, которые демонстрируют как фоновые колебания, так и резкие изменения. Анализ данных позволил выделить характерные временные интервалы возмущений. При наличии нескольких разнесенных датчиков появляется возможность оценить направление и интенсивность источников возмущения.

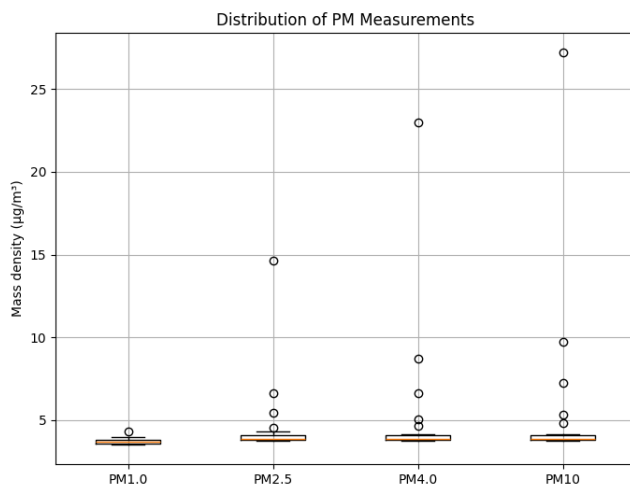


Рисунок 2. Распределения частиц. Статистическое распределение концентраций для PM1.0, PM2.5, PM4.0 и PM10.

Статистическое распределение концентраций аэрозольных частиц, представленное в виде бокс-потов, позволяет провести детальный анализ особенностей загрязнения воздуха различными фракциями частиц. Бокс-плоты наглядно демонстрируют ключевые статистические параметры для каждой измеряемой фракции: PM1.0, PM2.5, PM4.0 и PM10. Наибольший разброс значений наблюдается для фракции PM10, что объясняется существенной вариабельностью концентрации крупных частиц в атмосфере.

Медианные значения концентраций демонстрируют четкую зависимость от размера частиц - наименьшие показатели характерны для PM1.0, тогда как PM10 показывают максимальные значения. Особый интерес представляют выбросы, зафиксированные для фракций PM2.5 и PM10, которые могут быть связаны с эпизодическими выбросами от локальных источников загрязнения.

Заключение

Использование современных датчиков аэрозолей SPS30 в сочетании с микрокомпьютером Raspberry Pi представляет собой экономичное, но при этом высокоэффективное решение для мониторинга качества воздуха. Полученные данные могут быть успешно использованы как для экологического контроля, так и для фундаментального изучения атмосферных процессов. Перспективы дальнейшего развития системы включают расширение сети мониторинга и интеграцию с системами прогнозирования качества воздуха.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке Института солнечно-земной физики СО РАН. Автор выражает благодарность Едемскому И.К. и Добрынину В.А. за помощь в проведении исследований.

Список литературы

1. Hinds W. C. Aerosol Technology: Properties, Behavior, and Measurement of Airborne Particles. — 2nd ed. — Wiley, 1999. — 504 p.
2. I2C-bus specification and user manual. Rev. 6. - NXP Semiconductors, 2014. - 64 p.
3. Sensirion SPS30 Particulate Matter Sensor Datasheet. Version 3.0. - Sensirion AG, 2021. - 32 p.
4. Raspberry Pi Zero 2W Model B Product Brief. - Raspberry Pi Foundation, 2022. - 12 p.
5. Адушкин В.В. и др. Волновые, электрические и магнитные эффекты катастрофического извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай // Вулканология и сейсмология, 2022.
6. Пискунов В. Н. Динамика аэрозолей. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2010. — 296 с. — ISBN 978-5-9221-1286-4.

Возможности применения Linux-микрокомпьютеров в области точных измерений

Добрынин В.А.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

dobrynin@iszf.irk.ru

В работе предлагается техническое решение для регистрации геофизических процессов, основой регистратора является одноплатный микрокомпьютер с операционной системой Linux. Показано, что регистратор может найти свое применение в системах мониторинга, где не требуется высокая частота дискретизации (акустические и сейсмические измерения).

Введение

Современный уровень развития микроэлектроники позволяет потребительским устройствам находить применение в тех сферах человеческой деятельности, которые ранее требовали штучного специализированного оборудования, например, в научной сфере. Определенную нишу в научных исследованиях занимают одноплатные микрокомпьютеры (Raspberry Pi, Repka Pi и др.), которые используют в качестве записывающих устройств [1] благодаря их компактности, доступности и производительности на уровне бюджетного ноутбука. К положительным качествам таких устройств относится также наличие настраиваемых входов-выходов общего назначения (General Purpose Input-Output, GPIO) и возможность подключения различной цифровой периферии через встроенные интерфейсы UART, I2C, SPI.

Одна из ключевых особенностей микрокомпьютеров – это операционная система (обычно, Linux), которая обычно является тормозящим фактором при проведении сложных параллельных вычислений (в отличие от ПЛИС, FPGA) в силу того, что ОС расходует процессорное время в т.ч. на выполнение тех задач, которые пользователю в данный момент не важны. Однако ОС дает удобный инструментарий для удаленной настройки устройства и его периферии, языки программирования высокого уровня C, C++, Python и др. В том случае, когда повышаются требования к аппаратному отклику оборудования, есть возможность взаимодействовать с ядром операционной системы. Например, в пользовательской программе контролировать состояние GPIO можно только методом опроса (т.н. polling), пространство ядра позволяет настраивать аппаратные прерывания посредством специализированного кода – модулей ядра.

Предпосылки создания системы регистрации по точному времени

В Институте солнечно-земной физики также была ранее предложена концепция автономного пункта мониторинга геофизических полей с одноплатным компьютером в качестве регистратора [2]. Такой пункт может

быть оснащен солнечной электростанцией в качестве источника питания, а связь с ним поддерживается по беспроводным каналам связи (Wi-Fi, сотовая связь). Предполагается оснащать пункты регистрации приборами измерения акустического (микробарометры), ветрового (анемометры) и электрического (флюксометры) полей, что вкупе с вышеописанными техническими особенностями делает данную измерительную систему мобильным и легко перестраиваемым инструментом комплексного изучения динамики окружающей среды.

Этот перспективный концепт разрабатывается на основе существующей инфразвуковой станции ИСЗФ СО РАН, расположенной на территории Геофизической обсерватории института в п. Торы (Республика Бурятия) – рисунки 1-2. Станция представляет собой сеть разнесенных датчиков, которые измеряют микроколебания атмосферного давления в околозвуковом диапазоне. Объектом исследования являются, в частности, летние грозы, а именно инфразвук от грозовых импульсов в радиусе 20-25 км [3] от станции, кроме того, были зарегистрированы необычные сигналы от извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай [4] 15 января 2022 г. и от землетрясения на Тайване 3 апреля 2024 г. (публикация готовится к выходу летом 2025 г.). Шесть пунктов станции позволяют не только идентифицировать полезный сигнал, но и с неплохой точностью определить направление на источник. Это возможно за счет разнесения приборов в пространстве: при прохождении вдоль массива датчиков волны с конечной скоростью (скорость звука 340 м/с в нормальных условиях) между отдельными регистраторами возникают задержки во времени приема.

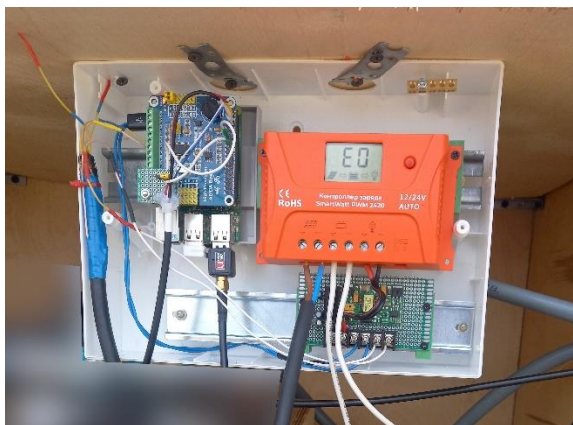


Рисунок 1. Оборудование в одном из пунктов станции

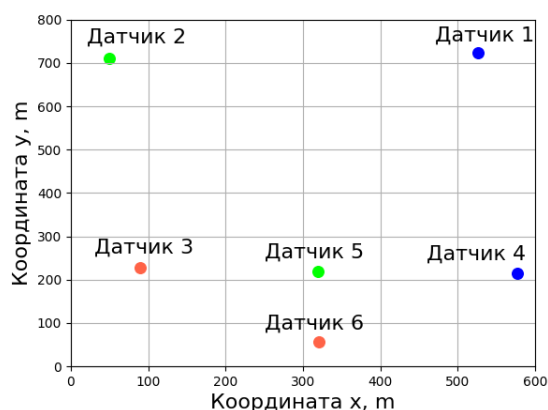


Рисунок 2. Конфигурация инфразвуковой станции

Поскольку в каждом пункте стоит свой регистратор, существует проблема синхронизации разных каналов между собой. Очевидно, что сбои в синхронизации будут приводить к ошибкам определения азимута наблюдаемого сигнала. Источником точного времени, который потенциально решает данную проблему, являются системы спутниковой

навигации (GPS, ГЛОНАСС и др., далее по тексту – системы GNSS). Сейчас на рынке присутствуют широкодоступные GNSS-приемники, которые, тем не менее, после синхронизации со спутниками выдают пользователю два сигнала точного времени – в текстовом формате NMEA 0183 и в виде импульсного сигнала PPS (pulse per second) на отдельном выходе. Приемник с помощью встроенных цепей ФАПЧ следит, чтобы генерация нового импульса PPS соответствовала наступлению очередной GNSS-секунды.

Разработка регистратора, первый взгляд

Поскольку в микрокомпьютерах Raspberry Pi, которые мы используем, не реализован аналого-цифровой преобразователь (АЦП), использовалась плата расширения на основе микросхемы Texas Instruments ADS1256. Данная микросхема – это 24-битный сигма-дельта АЦП [5], который поддерживает подключение 8 несимметричных или 4 дифференциальных каналов, имеет базовую частоту дискретизации 30,000 SPS (samples per second), запись в регистры и получение данных преобразования осуществляется через цифровой интерфейс SPI. Для АЦП предусмотрен список табличных частот дискретизации, которые проистекают из базовой частоты путем ее деления на заранее заданный коэффициент – количество усреднений. Чтобы получить частоту 50 SPS, в цифровом фильтре АЦП производится $30,000/50 = 600$ усреднений.

АЦП поддерживает запуск преобразования внешним импульсным сигналом на входе SYNC, это обязательно должен быть сигнал отрицательной полярности (HIGH → LOW → HIGH) длительностью не менее 520 нс, однако преобразование начинается только на нарастающем фронте SYNC-сигнала, т.е. нет необходимости держать SYNC на низком уровне длительное время. На выходе DRDY микросхема в момент начала преобразования выставляет высокий уровень, который остается высоким до тех пор, пока АЦП не будет готов отправить результат преобразования пользователю, DRDY – это флаг готовности данных. Таким образом, первоначально сложилась следующая схема взаимодействия между устройствами (рисунок 3): (а) выход PPS приемника подключается ко входу SYNC АЦП; (б) один из GPIO микрокомпьютера настраивается как вход, соединяется с выходом DRDY, в модуле ядра Linux пишется обработчик прерывания, который вызывается при наступлении спадающего фронта на DRDY, обработчик устанавливает SPI-соединение и забирает данные.

На этапе проектирования приходилось сталкиваться с некоторыми аппаратными особенностями, которые влияли на ход разработки системы в целом. Например, реальное время преобразования, в течение которого поддерживается высокий уровень DRDY, несколько больше табличного периода дискретизации, для частоты 50 SPS оно составляет 20.19 мс вместо 20 мс. Очевидно, это время включает издержки, необходимые для формирования нового значения. По этой причине невозможно тактировать

АЦП синхросигналом 50 Гц при установленной ранее частоте дискретизации 50 SPS, в таком случае DRDY постоянно остается на высоком уровне и нет возможности забрать данные. Необходимо установить дискретизацию минимум на одну итерацию выше, например 100 SPS.

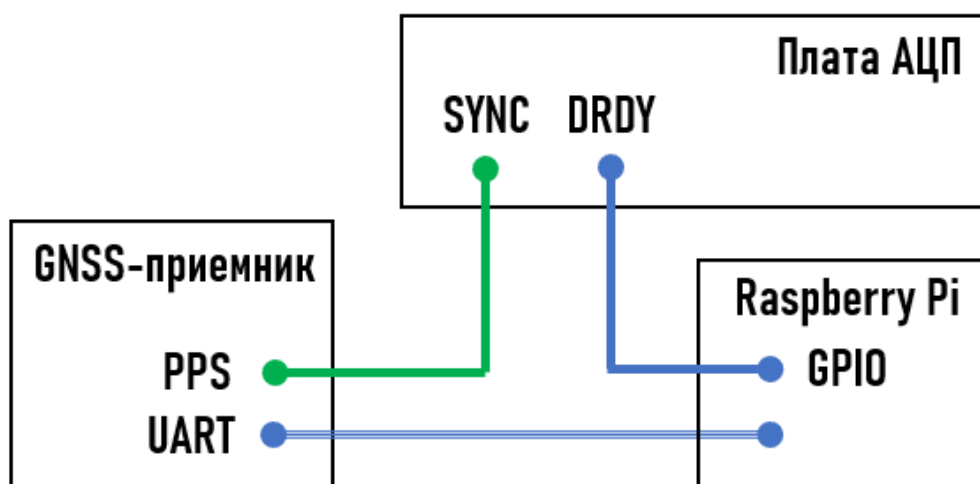


Рисунок 3. Схема взаимодействия устройств на первоначальном этапе проектирования

Привязка к точному времени

В данном проекте использовались GNSS-приемники u-blox NEO-7M, процесс настройки которых подробно описан в литературе [6]. Производителем разработан проприетарный протокол UBX, UBX-команды позволяют настраивать десятки параметров приемника, однако обязательным сообщением в проекте является команда UBX-CFG-TP5 (config time pulse), которая настраивает синхросигнал следующим образом: частота 50 Гц, полярность импульса – обратная, длительность импульса 1 мкс (напомню, необходимый минимум – 520 нс). Кроме того, есть возможность отключить генерацию PPS в случае плохой видимости спутников, однако такая установка на данном этапе усложняет программное обеспечение, поэтому частота и длина импульса сохраняются для любых условий, единственное, при плохой видимости приемник полагается на свои внутренние часы. Подробнее синтаксис разобран здесь [7]. Предварительную настройку приемника нет необходимости производить в модуле ядра, для этого достаточно программы в Python.

Очередная сложность заключалась в двух факторах: (а) сначала в пользовательской программе изменяется частота PPS и только потом загружается модуль, иначе происходит зависание системы. Время начала работы программы в формате ISO 8601 возможно извлечь только из текстового сообщения, полученного с приемника по UART раз в секунду. Частоту сообщений можно изменить командой UBX-CFG-RATE, но все

равно приемник не способен присылать их чаще, чем раз в 50 мс, что не подходит для проекта. (б) Смена частоты PPS на 50 Гц происходит при наступлении очередной GNSS-секунды, но в случайные моменты относительно ее начала: спустя 40, 60, 100 мс, причину установить не удалось (предварительно, это не связано с количеством спутников и временем отправки команды CFG-TP5).

Таким образом, при загрузке модуля в ядро нет возможности, оперируя только временем приемника, однозначно определить момент получения первых значений с АЦП. Проект подразумевал полное игнорирование системного времени микрокомпьютера в силу того, что оно может быть неверным, однако системное время всё же задействовано (рисунок 4): методом опроса в Python-программе другого GPIO, соединенного с выходом PPS, определяется момент перехода к частоте 50 Гц: как только разность между соседними отсчетами системного времени становится 20 мс определенное число раз подряд – только после этого происходит загрузка модуля, а сами разности записываются в лог-файл.

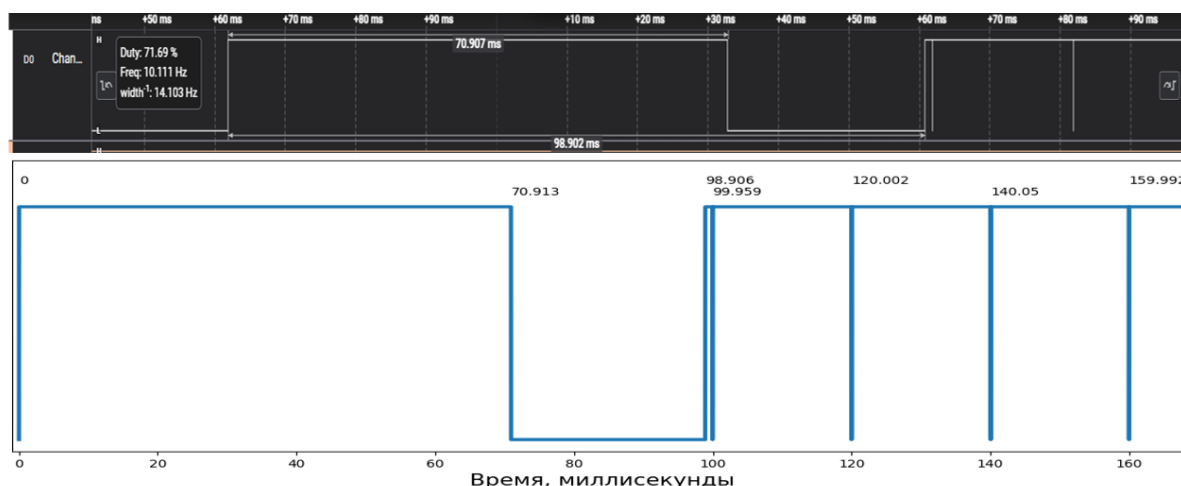


Рисунок 4. Попытка восстановить момент переключения частоты PPS. Вверху – оригинальный сигнал, полученный на логическом анализаторе, внизу – точки системного времени получены методом опроса GPIO в Python

Реализация модуля ядра

Ключевую задачу, получение данных с АЦП, выполняет разработанный модуль ядра `spirev`, блок-схема – на рисунке 5. Данное программное обеспечение в силу тесного взаимодействия с пользовательской Python-программой через функции структуры "file_operations" корректно называть также драйвером микросхемы ADS1256. Необходимо обозначить ряд важных моментов, во-первых, работа модуля поддерживается в версии ядра Linux 5.10, в более поздних версиях (например, 6.6) отсутствуют некоторые важные функции. Во-

вторых, на многих микрокомпьютерах по умолчанию шину SPI обслуживает штатный драйвер spidev, который необходимо отключить.

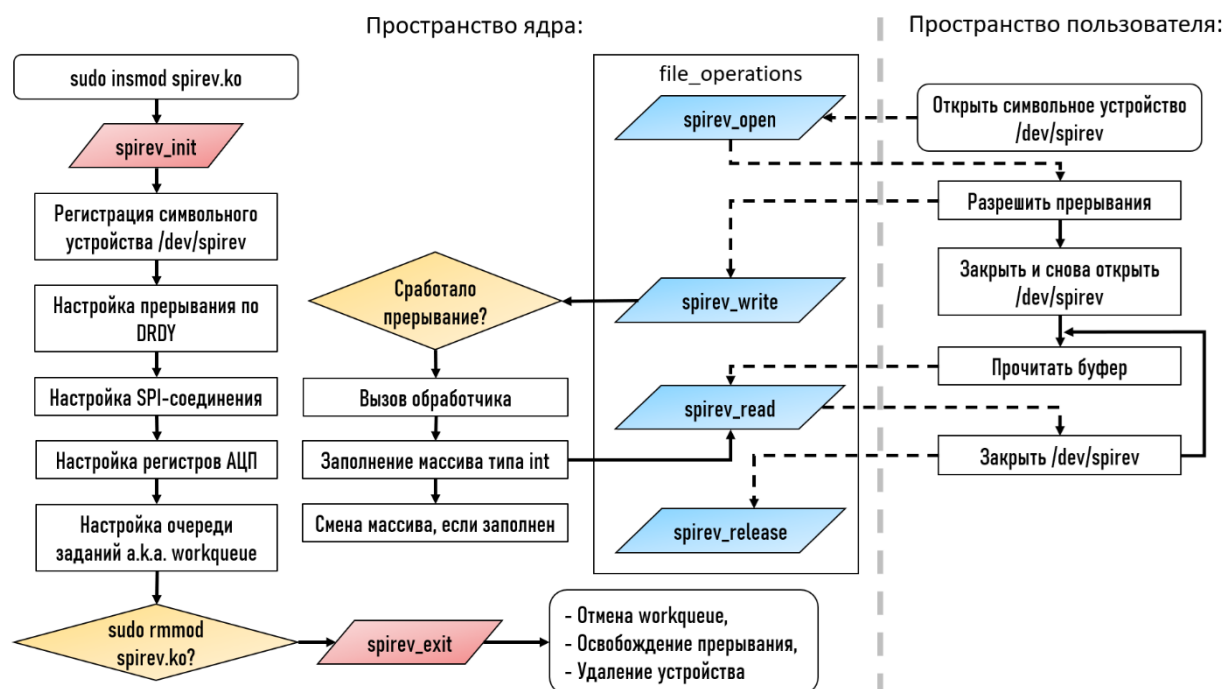


Рисунок 5. Драйвер spirev

Как можно видеть из схемы, после проведения всех необходимых настроек драйвер ожидает наступления прерывания, после прерывания вызывается обработчик. Важно отметить, что некоторые функции работы с SPI могут входить в состояние ожидания, что недопустимо в обработчике прерывания, т.к. при запуске обработчика ядро блокирует другие процессы и ожидает, что его выполнение не займет много времени. Для таких случаев реализована концепция "нижней половины" прерывания – выполнение части кода вне контекста прерывания, спустя некоторое время. Существует несколько механизмов постобработки прерывания – тасклеты, очереди заданий и т.п., в данном проекте использовался механизм очередей `workqueue`.

В модуле предусмотрено два буфера для вычисленных значений – пока один буфер заполняется, второй ожидает отправки пользователю. Принимая во внимание ограничения памяти на хранение переменных в ядре, тем не менее было выявлено, что размер одного буфера 1000 значений типа `int` (3 байта само измерение и 1 байт – знак) или 4000 байт оптимально для передачи и не приводит к переполнению памяти. Более того, пока происходит обкатка программного обеспечения в условиях реальных измерений на инфразвуковой станции (май 2025 г.), помимо буфера амплитудных значений пользователю передается 1000 значений меток системного времени (тоже в формате `int`) для контроля стабильности частоты PPS с приемника, что увеличивает общий размер занимаемой в ядре

памяти до 16 тыс. байт. Информация относится к Raspberry Pi, возможно в других микрокомпьютерах такие манипуляции с памятью будут приводить к переполнению.

Как было указано ранее, изначально в модуле было реализовано прерывание только по изменению состояния DRDY (рисунок 6), однако выяснилась еще одна неприятная особенность аппаратной части микросхемы АЦП. Напомню, задействован синхросигнал 50 Гц, частота дискретизации 100 SPS. Из записей с логического анализатора очевидно, что спустя 10 мс после импульса SYNC преобразование заканчивается (как и было задумано), в модуле ядра извлекаются данные, сразу после их извлечения DRDY снова переходит на высокий уровень, находясь в состоянии ожидания. При таком режиме работы нет уверенности, какому моменту времени принадлежат полученные значения.

Одно из ключевых правил документации, что АЦП прерывает текущее преобразование, если наступает новый строб синхросигнала, выполняется, но только в том случае, если не извлекать данные перед новым стробом. Это означает, что (а) необходимо поднять частоту дискретизации еще на один шаг, до 500 SPS. Следовательно, спустя 2 мс будет получено актуальное значение с АЦП, DRDY перманентно перейдет на высокий уровень, но спустя еще 2 мс вычисленное значение извлечено не будет, и уже следующий импульс SYNC запустит очередное корректное преобразование. Как видно из временной диаграммы на рисунке 7, до наступления строба АЦП будет генерировать с частотой дискретизации короткие импульсы, которые лишь сигнализируют о том, что новое значение не прочитано. Чтобы эти импульсы не влияли на работу модуля, необходимо (б) резервировать второе прерывание – для GPIO, соединенного с контактом SYNC. Второе прерывание требует своего обработчика, и в нем разрешается первое прерывание, которое по умолчанию отключено. После процедуры чтения первое прерывание (DRDY) снова запрещается, чтобы модуль не реагировал на импульсы сигнализации.

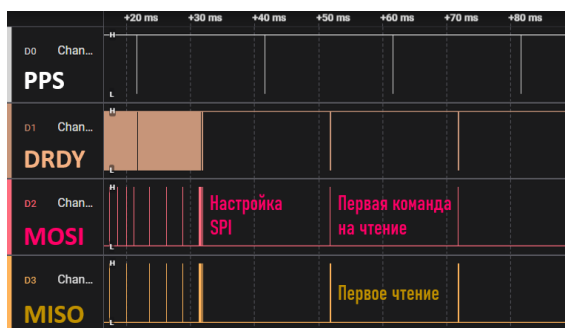


Рисунок 6. Временная диаграмма выхода PPS и SPI для версии проекта с прерыванием только по DRDY

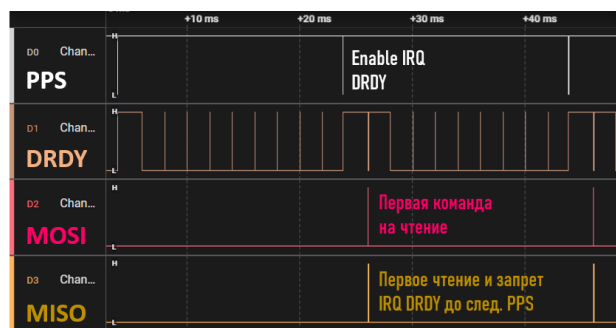


Рисунок 7. Временная диаграмма для версии проекта с прерываниями по двум сигналам – SYNC и DRDY

Данный программно-аппаратный комплекс сейчас проходит тестирование на полигоне Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН.

Заключение

В результате проведенной работы получено оригинальное устройство регистрации с возможностью тактироваться от сигнала точного времени. В процессе синтезирования регистратора из нескольких электронных компонентов возникали определенные сложности, связанные с аппаратными ограничениями готовых устройств, которые были описаны в данной статье, а также предложены варианты преодоления данных ограничений.

Благодарности

Работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки России. Результаты получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования "Ангара" <http://ckp-rf.ru/ckp/3056/>.

Список литературы

1. Manconi A. Short Communication: Monitoring rockfalls with the Raspberry Shake / A. Manconi, V. Coviello, M. Galletti, R. Seifert // *Earth Surf. Dynam.* 2018. – Vol. 6. – P. 1219–1227.
2. Dobrynin V. Technologies and measurement features applied at Eastern Siberia infrasound station // *Proc. SPIE 29th International Symposium on Atmospheric and Ocean Optics: Atmospheric Physics.* 2023. – Vol. 12780. P. 127806E-1–127806E-6.
3. Сорокин А.Г., Добрынин В.А. О методике исследования инфразвуковых волн от гроз / *Солнечно-земная физика.* 2022. Т. 8, № 1. С. 62–69. DOI: 10.12737/szf-81202208.
4. Сорокин А.Г., Добрынин В.А. О регистрации атмосферного эффекта извержения вулкана Хунга-Тонга / *Солнечно-земная физика.* 2024. Т. 10, № 1. С. 59–67. DOI: 10.12737/szf-101202408.
5. Very Low Noise, 24-Bit Analog-to-Digital Converter : техническая документация. – URL-адрес: <https://gesigor.ru/pdf/ads1256.pdf> (дата обращения: 16.05.2025). – Текст : электронный.
6. Протокол UBX в приемниках u-blox 7 : сайт. – URL-адрес: <https://microsin.net/adminstuff/others/u-blox-7-ubx-protocol-part-3.html> (дата обращения: 16.05.2025). – Текст : электронный.
7. Модуль ядра (драйвер) для получения данных с АЦП ADS1256 : сайт. – URL-адрес: https://gitflic.ru/project/dobrymmaniak/ads1256_rpi_driver (дата обращения: 16.05.2025). – Текст : электронный.

Использование оборудования Orion для контроля работоспособности аппаратуры связи

Дробышев А.В., Демин А.П.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

facs202@mail.ru, apd_60@mail.ru

В статье рассматривается применение оборудования системы «Орион» для контроля и обеспечения надежной работы средств связи. Анализируются особенности систем связи, требования к системам сигнализации, особенности электропитания оборудования, а также возможности интеграции с охранными системами на базе приборов «Орион». Особое внимание уделяется применению оптронов для гальванической развязки и решению проблем несовместимости схем питания. Представлен обзор ключевых приборов и программных решений, обеспечивающих эффективный мониторинг и управление системами связи.

Введение

Современные системы связи являются критически важными элементами инфраструктуры, обеспечивающими обмен информацией в различных сферах — от телекоммуникаций до систем безопасности. Надежность и бесперебойность работы средств связи напрямую влияют на качество предоставляемых услуг и безопасность объектов. В связи с этим возникает необходимость в эффективных системах контроля работоспособности оборудования, способных своевременно выявлять неисправности и обеспечивать оперативное реагирование.

Одним из эффективных решений является использование оборудования и программных комплексов системы «Орион», предназначенных для охранной сигнализации и контроля доступа, которые адаптированы для интеграции с оборудованием связи.

Система связи и необходимость сигнализации

Связь — это процесс передачи информации между источником и получателем с использованием технических средств и каналов передачи. Современные системы связи включают в себя сложные комплексы оборудования: телефонные станции, радиорелейные узлы, оптические линии, серверы и маршрутизаторы. Без надёжной связи невозможна координация действий, управление процессами и обеспечение безопасности.

Для поддержания работоспособности таких систем используются системы сигнализации, которые контролируют состояние оборудования, фиксируют аварийные ситуации и обеспечивают своевременное уведомление обслуживающего персонала. Примерами оборудования, требующего сигнализации, являются радиорелейные станции,

коммутаторы, линии передачи данных и охранные системы объектов связи [1].

Особенности электропитания оборудования связи

Одной из технических особенностей аппаратуры связи является схема питания с «общим +» (плюс используется в качестве заземления), что отличается от стандартных схем охранных систем с «общим -». Это создает сложности при интеграции систем сигнализации и контроля, поскольку прямое соединение цепей с разными схемами питания может привести к повреждениям и помехам.

Для решения этой проблемы традиционно используются электромеханические реле, однако они обладают рядом недостатков: высокой стоимостью, большими габаритами, износом и потерями при переключении. Поэтому в системах связи требуется использование более компактных и надёжных решений, учитывающих особенности электропитания.

Система «Орион» как решение для контроля аппаратуры связи

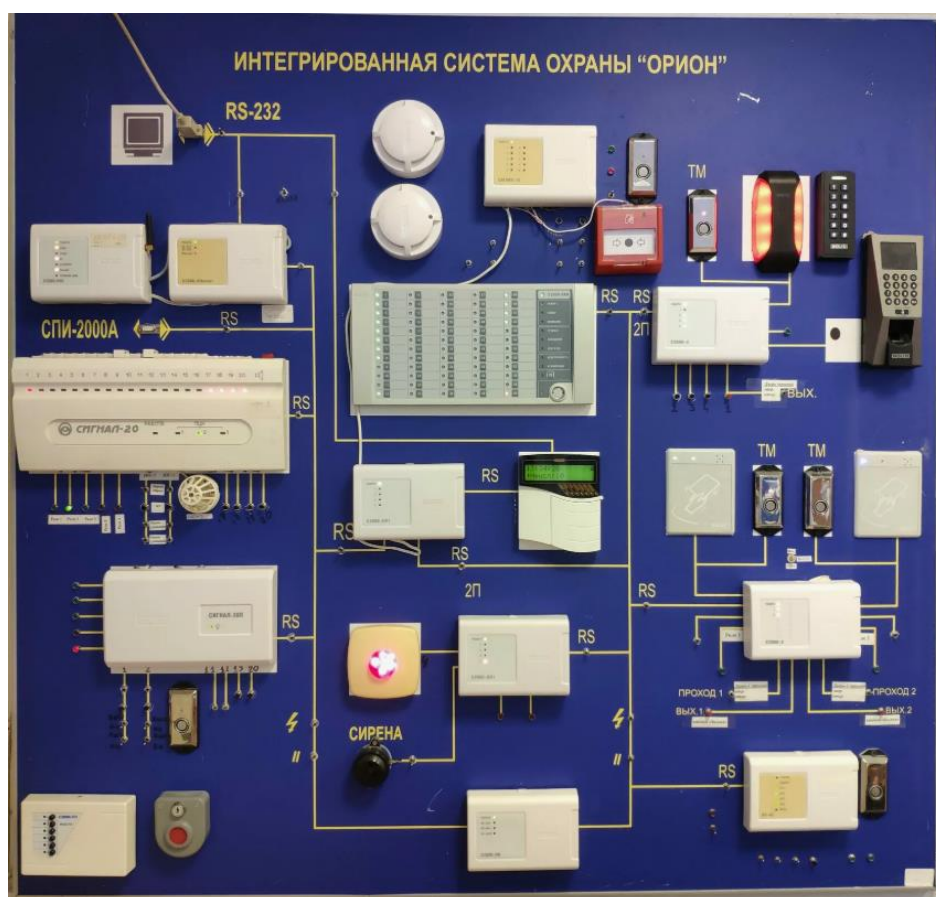


Рисунок 1. Система Орион

Система «Орион» представляет собой комплекс охранной сигнализации и контроля доступа, широко применяемый в различных отраслях, включая объекты связи (система Орион, рис.1). Основу системы составляют приборы, объединённые по интерфейсу RS-485, и программный комплекс АРМ «Орион Про», обеспечивающий централизованное управление и мониторинг.

Ключевые преимущества системы «Орион» включают:

- высокую степень интеграции и масштабируемости;
- автономную работу приборов при нарушении связи с контроллером;
- возможность объединения шлейфов сигнализации в группы для расширенного управления;
- информационный обмен между приборами без потери взаимосвязи;
- автоматизацию процессов контроля и управления.

Использование системы «Орион» позволяет обеспечить надежный мониторинг состояния средств связи, своевременное обнаружение сбоев и оперативное реагирование, что значительно повышает общую надежность и безопасность [3].

Применение оптронов в системах контроля

Оптопары — это полупроводниковые приборы, обеспечивающие гальваническую развязку между цепями с разными потенциалами посредством светового сигнала. Они широко применяются для передачи управляющих сигналов в системах с разными схемами питания, что актуально для интеграции коммуникационного оборудования с охранными системами (оптроны и оптопары, рис. 2).

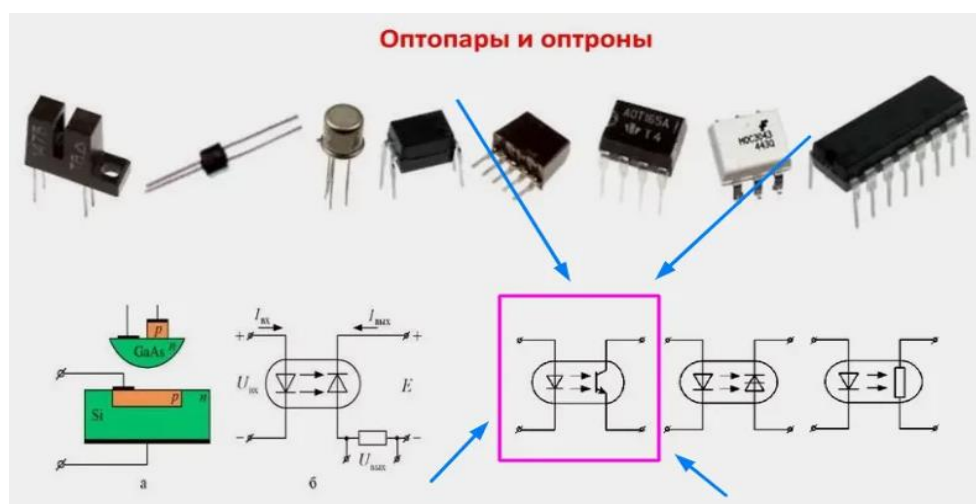


Рисунок 2. Оптопары и оптроны

Основные характеристики оптронов:

- низкое потребление энергии;

- высокая скорость переключения;
- отсутствие механического износа;
- компактные размеры;
- способность работать при различных напряжениях и токах.

Использование оптронов позволяет эффективно решать проблему несовместимости схем питания («общий +» и «общий -»), снижать помехи и повышать надёжность систем сигнализации [2].

Перечень оборудования системы «Орион»

Для построения комплексной системы контроля аппаратуры связи используются следующие ключевые компоненты:

- АРМ «Орион Про» – программный комплекс для централизованного управления и мониторинга системы безопасности (рис. 3).
- Приборы «Сигнал-20» и «Сигнал-20П» – охранные приборы для сбора и передачи информации о состоянии объектов (рис. 4).
- Прибор «С2000-4» – приемно-контрольный прибор для интеграции различных датчиков и исполнительных устройств (рис. 5).

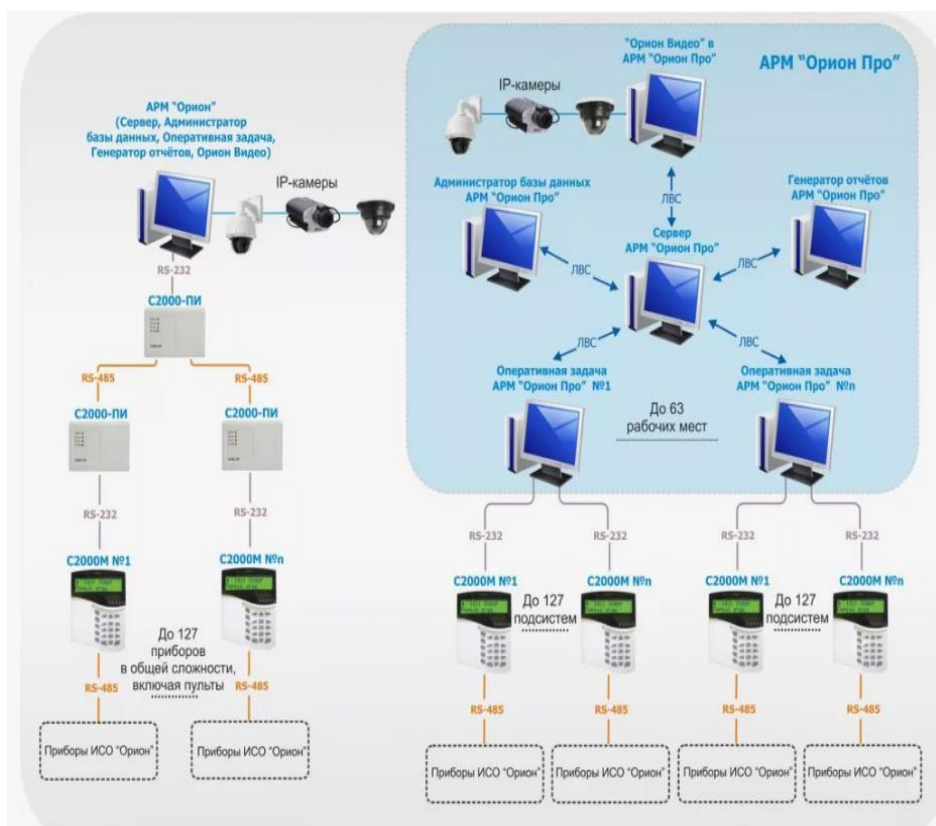


Рисунок 3. АРМ «Орион Про»



Рисунок 4. Сигнал-20П



Рисунок 5. Прибор C2000-4

Данное оборудование обеспечивает гибкость, масштабируемость и надежность системы контроля [3].

Заключение

Внедрение оборудования и программных решений системы «Орион» для контроля работоспособности средств связи позволяет повысить надежность и безопасность коммуникационной инфраструктуры. Особенности питания средств связи требуют применения специализированных решений, таких как оптроны, для гальванической развязки и согласования схем. Комплексный подход с использованием современных приборов и программного обеспечения обеспечивает эффективный мониторинг, своевременное обнаружение неисправностей и оперативное управление системами связи.

Список литературы

1. Иванов И.И., Петров П.П. Современные системы сигнализации и контроля. М.: Издательство, 2022. 256 с.
2. Сидоров А.А. Гальваническая развязка и оптроны в системах управления // Электроника и связь. 2023. № 4. С. 45-52.
3. Техническая документация на приборы «Сигнал-20», «Сигнал-20П», «C2000-4» [Электронный ресурс]. URL: <https://bolid.ru> (дата обращения: 06.05.2025).

Разработка системы самодиагностики для рентгеновского многоканального спектрометра СРМ-25

Жук С.П.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
stepanstepanol123@gmail.com

В работе рассматривается проблема отсутствия встроенных механизмов самодиагностики в конструкции многоканального рентгеновского спектрометра СРМ-25. Обоснована необходимость реализации автономной системы контроля технического состояния прибора для повышения его надёжности и удобства эксплуатации. Приведено описание архитектуры предлагаемой системы самодиагностики, принцип её функционирования и состав аппаратных компонентов.

Введение

Спектрометр СРМ-25 — это стационарный многоканальный прибор, реализующий метод волнодисперсионной рентгенофлуоресцентной спектроскопии (WDXRF). Он широко используется на промышленных предприятиях для анализа состава металлов, сплавов, руд и технологических материалов. Конструкция прибора включает в себя рентгеновскую трубку, систему каналов с кристаллами-анализаторами, поворотное устройство для подачи образцов, детекторы, вакуумную и охлаждающую систему, а также электронные модули управления и регистрации сигнала.

Несмотря на технологическую зрелость устройства, в СРМ-25 отсутствует полноценная встроенная система самодиагностики. В случае возникновения неполадок (перегрев, разгерметизация, сбой в питании, «тишина» канала) оператор обнаруживает их либо по сбою анализа, либо путём визуального осмотра или косвенных признаков. Это значительно увеличивает время простоя, снижает надёжность анализа и усложняет обслуживание, особенно в производственной среде, где доступ к прибору ограничен. В данной работе предлагается подход к созданию внешней автономной системы самодиагностики, не вмешивающейся в измерительный тракт прибора, но позволяющей контролировать ключевые параметры его функционирования в режиме реального времени. [1].

Устройство и принцип действия спектрометра СРМ -25

Принцип действия спектрометра основан на возбуждении характеристического рентгеновского излучения атомов образца с последующей дисперсией по длине волны и регистрацией интенсивности спектральных линий. Для этого первичное излучение от рентгеновской

трубки направляется на поверхность образца. Возникающее в результате взаимодействия характеристическое излучение отражается от кристалла-анализатора под углом Брэгга, проходит через щели и регистрируется соответствующим детектором [2-3].

Каждый канал в приборе представляет собой отдельную оптическую ветвь, настроенную на определённую линию (например, Fe K α , Zn L β). Каналы размещены на двух уровнях внутри стойки под углами 44° и 30°, что обеспечивает широкий диапазон анализа. Для стабильной работы системы требуется поддержание определённых условий: стабильное питание модулей, охлаждение рентгеновской трубки и каналов, герметизация вакуумных трактов, подача газа в пропорциональные детекторы. Вся логика управления реализована в блоке БУ, который включает модули усиления, высоковольтного питания, логики, интерфейса и исполнительных ключей. Однако, контроль технического состояния этих подсистем в штатной конструкции отсутствует [4].

Обоснования необходимости самодиагностики

Практика эксплуатации спектрометра СРМ-25 на Иркутском заводе тяжёлого машиностроения (ИЗТМ) показала, что наиболее частыми проблемами являются:

- перегрев рентгеновской трубки из-за неисправностей в СВО;
- падение чувствительности из-за деградации детекторов;
- нестабильность питания отдельных модулей;
- выход из строя элементов вакуумной системы;
- отсутствие сигнала с одного или нескольких каналов.

Поиск причины отказа в этих условиях представляет собой трудоёмкий процесс, требующий времени и участия квалифицированного инженера. Сам прибор не предоставляет оператору информации о внутренних параметрах своей работы, что делает невозможным предупреждение аварий или быстрое устранение их причин, поиск причины сбоя может занимать от 30 минут до нескольких часов, особенно если специалист не имеет доступа к внутренним модулям.

Анализ приведённых проблем показывает, что даже незначительное отклонение от штатного режима может повлиять на результат анализа или привести к остановке работы прибора. В связи с этим, создание отдельной микропроцессорной системы, непрерывно отслеживающей температуру, напряжение, ток и активность сигнальных трактов, позволяет существенно повысить надёжность работы спектрометра и упростить его техническое сопровождение. На основе этого была сделана структурная схема, системы самодиагностики, которая представлена на рисунке 1.

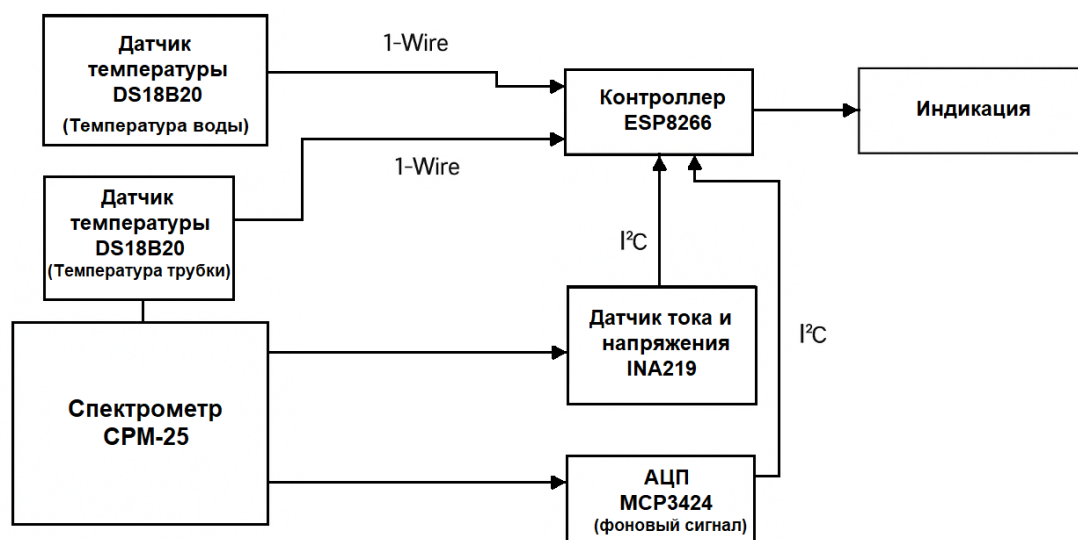


Рисунок 1 – Структурная схема системы самодиагностики

Архитектура и компоненты системы самодиагностики

Разработанная система самодиагностики представляет собой отдельный модуль, установленный внутри корпуса спектрометра, питающийся от вспомогательной цепи 5 В и не влияющий на основной измерительный тракт. В её состав входят: Микроконтроллер ESP8266 (NodeMCU) — центр управления и логики; Температурные датчики DS18B20 (2 шт.) — для контроля СВО и трубки; INA219 — модуль измерения тока и напряжения в цепи питания; MCP3424 — 18-битный АЦП для оценки фоновых сигналов; Светодиодная индикация — для визуального отображения статуса; Программа на контроллере реализует цикл: инициализация опрос датчиков сравнение с порогами индикация логирование. Пороговые значения могут быть изменены вручную в коде или через веб-интерфейс (при подключении Wi-Fi). [3].

План реализации и ожидаемые результаты

В рамках работы над проектом предполагается собрать макет системы самодиагностики на базе микроконтроллера ESP8266 с последующим тестированием в лабораторных условиях. В первую очередь будет реализована проверка работоспособности датчиков температуры и системы измерения тока и напряжения. Для анализа сигналов с выходов усилителей планируется использовать высокоточный АЦП, который позволит фиксировать уровень активности в канале и оценивать наличие фонового уровня.

Будет разработана логика обработки измеренных данных с заданием пороговых значений, при выходе за которые система будет формировать предупреждение или сообщение об ошибке. Предусматривается использование простой визуальной индикации (светодиоды) и, в перспективе, логирования параметров с последующей передачей на ПК или

в локальную сеть. В будущем планируется провести интеграцию системы в реальную установку спектрометра СРМ-25 с целью наблюдения за её работой в штатных условиях эксплуатации. Особое внимание будет уделено вопросам электромагнитной совместимости, надёжности контактов и устойчивости к помехам, характерным для измерительных комплексов.

Заключение

Разработка и внедрение системы самодиагностики для спектрометра СРМ-25 представляет собой перспективное направление, ориентированное на повышение эксплуатационной надёжности прибора и снижение времени поиска неисправностей. Несмотря на то, что в настоящее время проект находится на стадии лабораторного моделирования, его архитектура уже определена, а основные аппаратные компоненты подобраны.

Ожидается, что внедрение такой системы позволит реализовать мониторинг ключевых параметров спектрометра (температура, питание, сигнал) в режиме реального времени. Полученные данные могут использоваться как для аварийной сигнализации, так и для профилактического обслуживания оборудования. Предлагаемое решение не требует вмешательства в измерительный тракт и может быть масштабировано для использования в других приборах рентгенофлуоресцентного анализа.

Список литературы

1. Спектрометр рентгеновский многоканальный СРМ-25. Руководство по эксплуатации. – АПУ2.770.007РЭ. – Иркутск, 2018. – 80 с.
2. Ширкин Л.А. Рентгенофлуоресцентный анализ объектов окружающей среды: учебное пособие / авт.-сост.: Л.А. Ширкин; Владим. гос. ун-т. – Владимир: Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 65 с. ISBN 978-5-89368- 919-8.
3. Теория и практика рентгенофлуоресцентного анализа. Черноруков Н.Г., Нипрук О.В. Электронное учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2012. – 57 с.
4. Косьянов, П. М. Рентгенофизический анализ неорганических веществ сложного химического состава : монография / П. М. Косьянов. – Тюмень : ТИУ, 2016. – 195 с. ISBN 978-5-9961-1419-1.

Исследование влияния неточности экспериментальных данных на результаты томографической реконструкций крупномасштабных ионосферных неоднородностей

Зверев М.А.¹, Падохин А.М.²

1 – Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

2 – Московский государственный университет, Москва, Россия

mikhail.zverev.90@mail.ru, padokhin@physics.msu.ru

В работе исследуется влияние шумов измерений полного электронного содержания и неточности определения параметров начального приближения (высоты и значения электронной концентрации в максимуме ионосферной ионизации) на результаты реконструкции двух крупномасштабных ионосферных неоднородностей F-слоя при помощи методов лучевой радиотомографии (РТ). Линейка источников синтезируется низкоорбитальным спутником. Модель фоновой ионосферы (начального приближения) задана плоскостойким приближением в виде простого слоя Чепмена. Для решения томографической системы линейных уравнений используется итерационный алгоритм ART (algebraic reconstruction technique) без использования весовых функций и дополнительного межитерационного сглаживания.

Введение

Состояние ионосферы Земли оказывает значительное влияние на распространение радиоволн, что делает ее диагностику одной из важных задач космической радиофизики. Существуют различные методы исследования ионосферы, среди которых ведущую роль играет радиозондирование. Этот метод позволяет измерять параметры рассеянного сигнала, такие как фаза, амплитуда, время группового запаздывания и доплеровское смещение частоты, вызванное как движением излучателя, так и движением ионосферных неоднородностей. Анализ этих параметров позволяет получить информацию о структуре и динамике ионосферы.

При исследованиях ионосферы высокая пространственная и временная изменчивость неоднородной структуры затрудняет ее диагностику. Большинство из существующих радиолокационных инструментов позволяют проводить лишь локальную диагностику ионосферы, а создание глобальной сети таких средств, как правило, очень дорого и сложно. С развитием спутниковых технологий появились новые перспективные методы исследования ионосферы такие как спутниковая радиотомография (РТ) и радиозатменные измерения [1–2]. С помощью спутников можно реализовать простую схему измерений. В ней радиопередатчик, расположенный на борту движущегося по орбите спутника, излучая сигнал через определенные интервалы времени, синтезирует линейку источников, а на поверхности земли располагается стационарная линейка приемников, регистрирующая поле радиоволн, прошедших через неоднородную плазменную среду. Таким образом, при

просвечивании неоднородной среды под разными ракурсами получается набор фазовых проекций, которые в дальнейшем используются для восстановления физических характеристик среды [1–3]. Как правило, спутниковую радиотомографию разделяют на лучевую, дифракционную и статистическую [1].

При помощи лучевой радиотомографии исследуются крупномасштабные ионосферные неоднородности. Данный метод основывается на геометрикооптическом приближении, в рамках которого характеристики принимаемого сигнала (фаза, задержка, амплитуда) представляют собой линейные интегралы вдоль лучей, имеющие на высоких частотах вид прямых линий. Поэтому задача лучевой томографии сводится к восстановлению характеристик среды по набору линейных интегралов без учета дифракционных эффектов [1–3].

Постановка задачи лучевой радиотомографии ионосферы

Рассмотрим схему измерений, используемую в лучевой радиотомографии ионосферы. Для наглядности представим задачу реконструкции профиля электронной концентрации неоднородной ионосферной плазмы в сечении плоскостью, содержащей траекторию движущегося по орбите низкоорбитального спутника и расположенную на поверхности Земли линейку приемников. Будем использовать ортогональную систему координат (τ, h) , где τ – горизонтальное расстояние по поверхности Земли в плоскости пролета спутника, а h – высота над поверхностью Земли (см. рисунок 1).

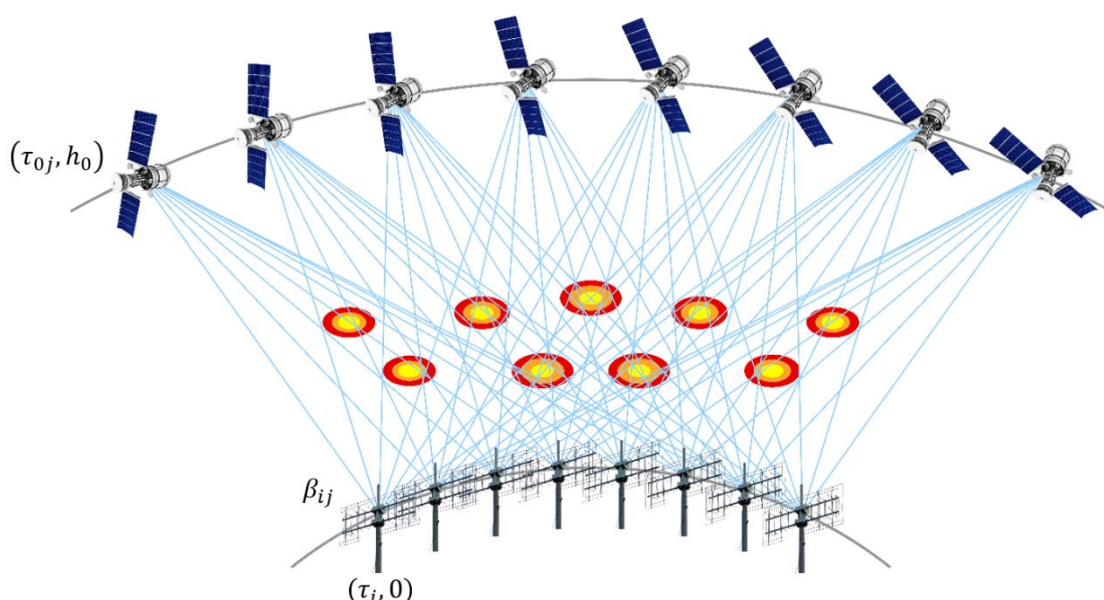


Рисунок 1 – Схема измерений в лучевой радиотомографии

Таким образом, геометрия задачи определяется набором координат спутника (τ_0, h_0) , приемников $(\tau_i, 0)$ и углом возвышения спутника β .

Естественно, траектория распространения луча (сигнала) в среде существенно зависит от распределения электронной концентрации и отлична от прямой линий. Учитывая высокую частоту зондирующего сигнала, в данной постановке задачи будем пренебрегать рефракционными эффектами, считая луч прямой линией, соединяющей спутник и приемник. Важно отметить, что в выбранной системе координат уравнение луча отлично от прямой линии и описывается уравнением [1]:

$$\tau - \tau_i = R \left[\beta - \arccos \left(\frac{R}{R+h} \cos \beta \right) \right]. \quad (1)$$

Известно, что полное электронное содержание (ТЕС – total electron content) пропорционально разности фаз для двух когерентных частот, следовательно, задача томографической реконструкции профиля электронной концентрации $N(\tau, h)$ может быть решена по набору линейных интегралов:

$$TEC(\beta, \tau_i) = \int_0^{h_0} \frac{N(\tau, h)(R+h)dh}{\sqrt{R^2 \sin^2 \beta + 2Rh + h^2}}, \quad (2)$$

здесь интегрирование выполняется по лучу, соединяющим i -ый приемник со спутником.

Характерной особенностью томографии ионосферной плазмы является ограничение по ракурсам просвета, вследствие чего восстановление непрерывного распределения профиля электронной концентрации не представляется возможным. Поэтому задачу реконструкции необходимо решать в дискретном виде [1]. Разобьем реконструируемую область на набор прямоугольных элементов (n_0 – по горизонтали и m_0 – по вертикали) и проведем дискретизацию по координатам спутника (τ_{0j}, h_{0j}) . Обозначим за $N_{n,m}$ значение функции $N(\tau, h)$ в узле (n, m) ($1 \leq n \leq n_0, 1 \leq m \leq m_0$), тогда значения искомой функции $N(\tau, h)$ внутри прямоугольного элемента с координатами вершин (n, m) , $(n+1, m)$, $(n, m+1)$ и $(n+1, m+1)$ можно представить в виде билинейной интерполяции с дискретом по горизонтали $\Delta\tau$ и высоте Δh :

$$N(\tau, h) = \frac{N_{n,m}(\tau - \tau_{n+1})(h - h_{m+1})}{\Delta\tau\Delta h} - \frac{N_{n+1,m}(\tau - \tau_n)(h - h_{m+1})}{\Delta\tau\Delta h} - \frac{N_{n,m+1}(\tau - \tau_{n+1})(h - h_m)}{\Delta\tau\Delta h} + \frac{N_{n+1,m+1}(\tau - \tau_n)(h - h_m)}{\Delta\tau\Delta h}. \quad (3)$$

Важно отметить, что в линейный интеграл TEC_{ij} вносят вклад только те элементы сетки, которые пересекаются лучом, соединяющем j -ое положения спутника с i -ым приемником, поэтому значения профиля электронной концентрации могут быть отличны от нуля не во всех узлах.

Следовательно, интеграл в выражении (2) можно представить в виде суммы (суммирование идет по повторяющимся индексам) [1]:

$$L_{i,j}^{n,m} N_{n,m} = TEC_{i,j}, \quad (4)$$

здесь L_{ij}^{nm} – элемент матрицы проекционного оператора (приближенное значения интеграла для луча (i, j) в элементе (n, m)). Таким образом, задача нахождения значения электронной концентрации в узлах сетки сводится к решению системы линейных уравнений.

В работе [1] представлен анализ различных алгоритмов решения систем линейных уравнений, используемых в спутниковой радиотомографии ионосферы, таких как ART, SIRT, MART, DART и др. Результаты экспериментов по наземной РТ ионосферы показали, что не существует идеального алгоритма, применимого во всех ситуациях. Каждый алгоритм имеет свои преимущества и недостатки, определяющие его эффективность в зависимости от метода реконструкции, точности исходных данных, особенностей структуры ионосферы и других факторов.

В настоящей работе для решения системы линейных уравнений (4) использовался алгоритм ART (лучи перебираются циклически) [1]:

$$\mathbf{N}^{k+1} = \mathbf{N}^k + \frac{TEC_i - \langle \mathbf{L}^i, \mathbf{N}^k \rangle}{\langle \mathbf{L}^i, \mathbf{L}^i \rangle} \mathbf{L}^i, \quad (5)$$

здесь \mathbf{N} – вектор столбец неизвестных, \mathbf{L}^i – i -ая строка матрицы $L_{i,j}$, TEC_i – данные измерений для i -го луча, а \mathbf{N}^0 – начальное приближение гладкой ионосферы.

Результаты численного моделирования

Как уже отмечалось выше, будем рассматривать задачу в сечении плоскостью, проходящей через линейки источников и приемников (рис. 1). Электронную концентрацию неоднородной ионосферной плазмы $N(\tau, h)$ представим в виде суммы ее фонового профиля $\bar{N}(\tau, h)$ и флуктуаций $\tilde{N}(\tau, h)$ относительно него.

Для модели фоновой среды и начального приближения итерационного алгоритма (5) выберем плоскостойкое приближение в виде простого слоя Чепмена [4]:

$$\bar{N}_{chap}(h) = \bar{N}_m \exp \left[1 - \frac{h - h_m}{H} - \exp \left(- \frac{h - h_m}{H} \right) \right], \quad (6)$$

где h_m – высота максимума ионосферной ионизации, H – характерная полутолщина слоя, а \bar{N}_m – значение электронной концентрации в максимуме ионосферной ионизации.

В качестве модели вариации электронной концентрации возьмем две плазменные неоднородности, имеющие гауссов профиль:

$$\tilde{N}_{irr}(\tau, h) = \sum_{i=1}^2 \tilde{N}_{mi} \exp \left[- \left(\frac{(\tau - \tau_{mi})^2}{2l_{\perp i}^2} + \frac{(h - h_{mi})^2}{2l_{\parallel i}^2} \right) \right], \quad (7)$$

здесь для i -ой неоднородности \tilde{N}_{mi} – максимальное значение вариации электронной концентрации, $l_{\perp i}$ и $l_{\parallel i}$ – характерные поперечный и продольный размеры, а x_{mi} и z_{mi} – положение центра.

При численных расчетах используются следующие параметры. Высота орбиты низкоорбитального спутника 1000 км и рабочие частоты 150 МГц и 400 МГц. В модели фоновой среды $h_m = 350$ км, $H = 111$ км и $\bar{N}_m = 10^{12} \text{ м}^{-3}$. Параметры исследуемых плазменных неоднородностей: $\tilde{N}_{m1} = \tilde{N}_{m2} = 0,07 \cdot \bar{N}_m$, $l_{\parallel 1} = l_{\parallel 2} = 80$ км, $l_{\perp 1} = l_{\perp 2} = 120$ км, $\tau_{m2} = -\tau_{m1} = 300$ км и $h_{m1} = h_{m2} = 300$ км. Элементы приемной линейки (9 приемников) расположены равномерно в диапазоне от -900 км до 900 км с шагом 200 км.

Исследуем влияние шумов измерений ТЕС (случайных погрешностей данных) и неточности определения параметров (высоты и значения электронной концентрации в максимуме ионосферной ионизации) начального приближения на результаты томографической реконструкции двух крупномасштабных ионосферных неоднородностей F-слоя, расположенных на одной высоте. Размерность сетки 70×70 и число итераций алгоритма ART 100 фиксированы. Также на каждом шаге в силу условия положительности решения отрицательные значения поправок занулялись.

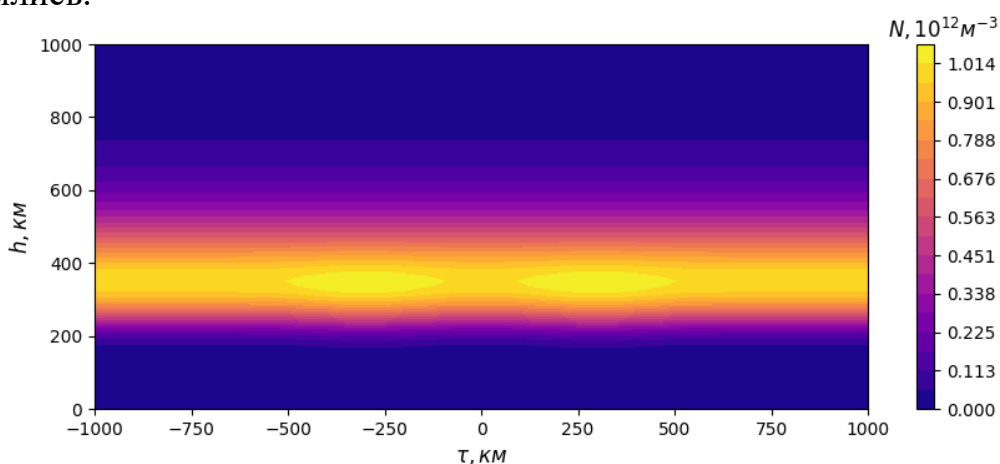


Рисунок 2 – Модель ионосферы с двумя неоднородностями

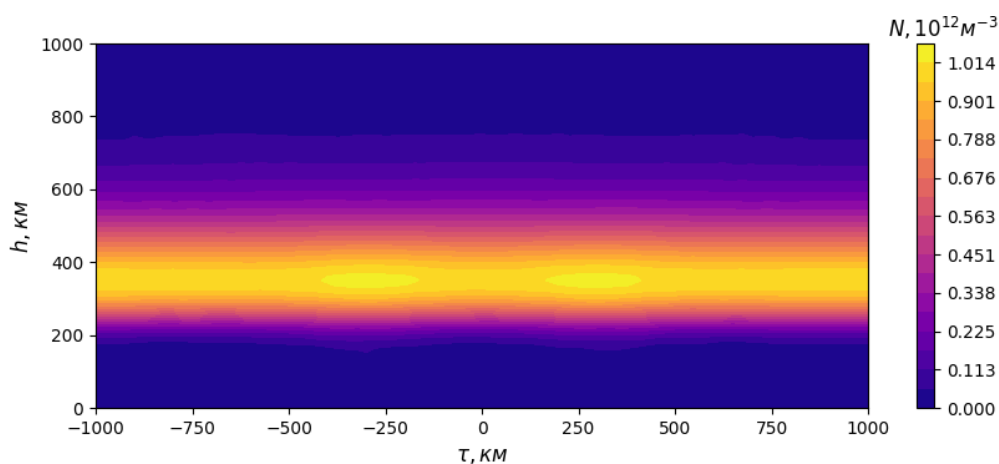


Рисунок 3 – Результат реконструкции модели (рис. 2) методом РТ

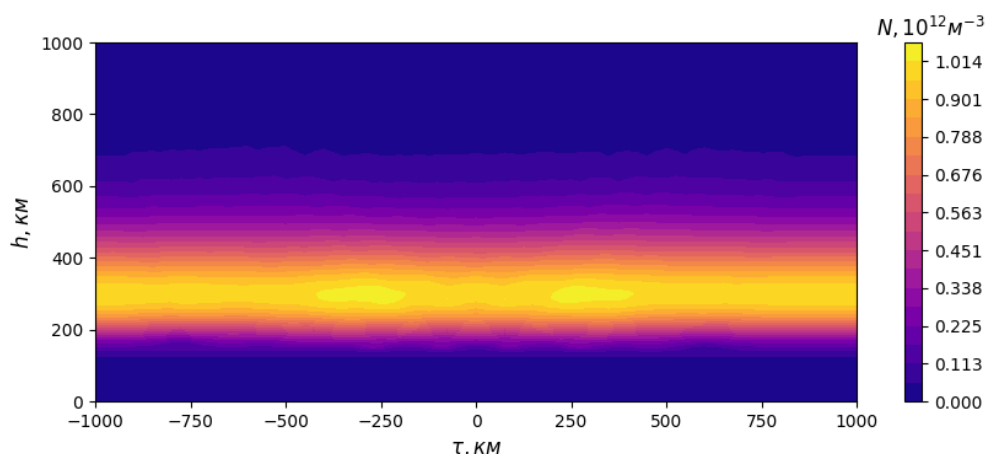


Рисунок 4 – Реконструкции модели (рис. 2) методом РТ при 15 % погрешности определения положения максимума ионосферной ионизации

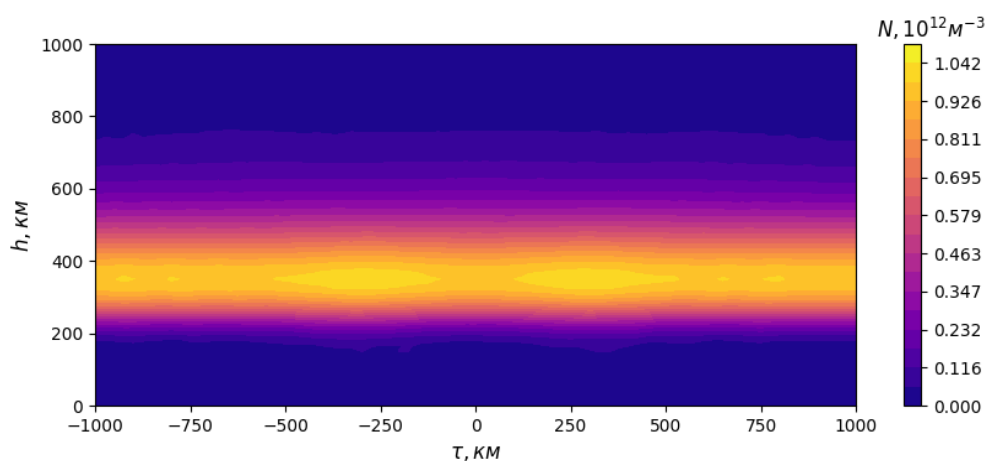


Рисунок 5 – Реконструкции модели (рис. 2) методом РТ при 2 % погрешности определения электронной концентрации в максимуме ионосферной ионизации

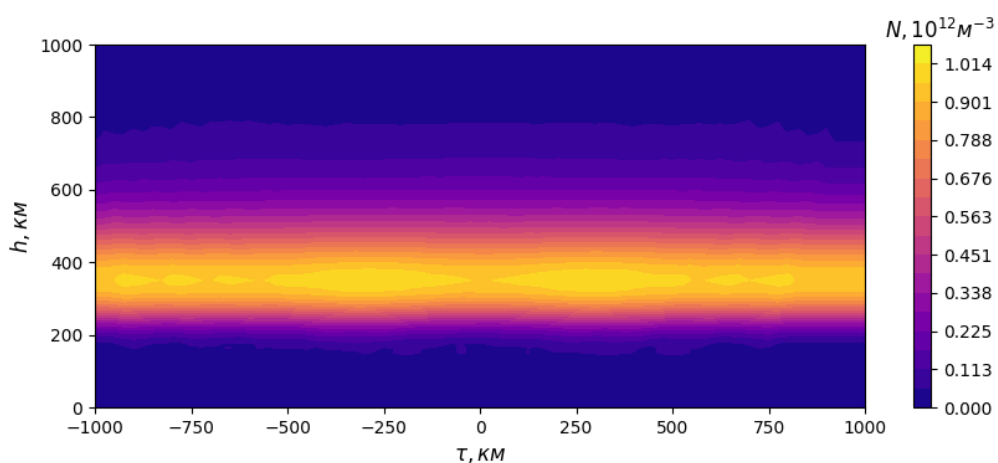


Рисунок 6 – Реконструкции модели (рис. 2) методом РТ при 5 % погрешности определения электронной концентрации в максимуме ионосферной ионизации

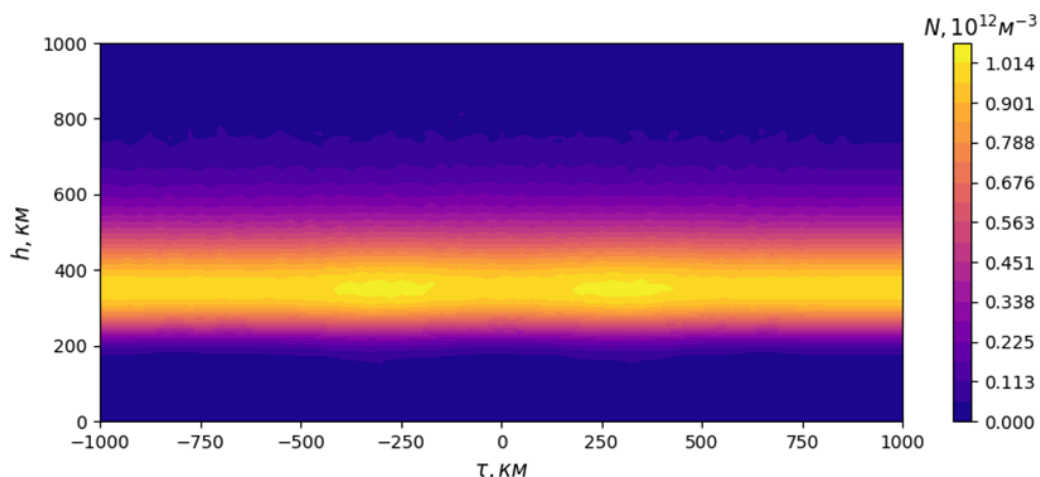


Рисунок 7 – Реконструкции модели (рис. 2) методом РТ при наличии высокочастотных шумов измерений ТЕС (уровень шума 0.5 %)

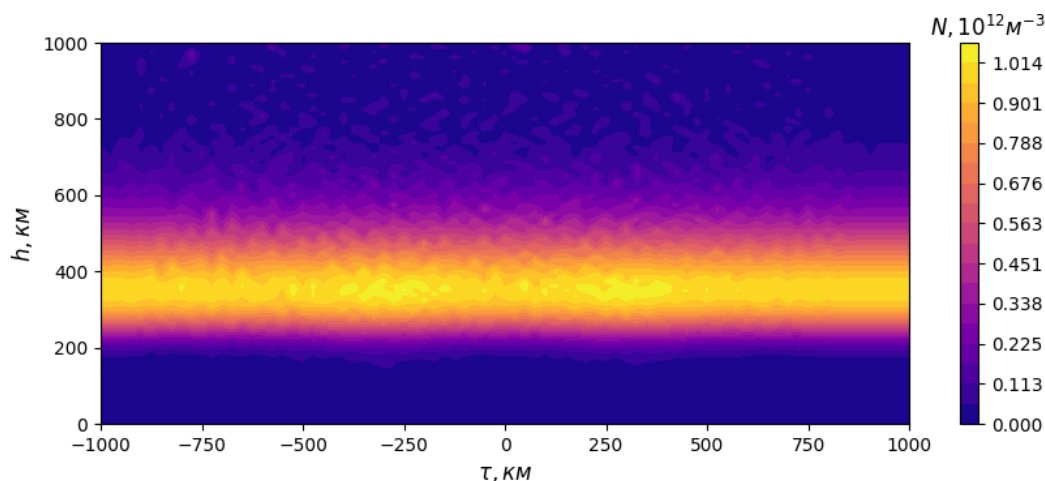


Рисунок 8 – Реконструкции модели (рис. 2) методом РТ при наличии высокочастотных шумов измерений ТЕС (уровень шума 2 %)

На рисунке 2 приведено исходное модельное распределение электронной концентрации, а на рисунке 3 – результат его реконструкции методом радиотомографии в отсутствии случайных ошибок ТЕС и неточности задания параметров начального приближения. В данном случае демонстрируется хорошее восстановление интенсивности, размеров и положения крупномасштабных неоднородных плазменных структур. Из рисунков 4 видно, что 15 % погрешности определения высоты максимума ионосферной ионизации в результате реконструкции происходит вертикальное смещение фонового профиля и неоднородных структур, однако их интенсивность, характерные размеры и горизонтальное положение остаются прежними. В случае погрешности определение электронной концентрации максимума ионосферной ионизации (см. рисунки 5 и 6) наблюдается горизонтальное смещение неоднородностей, увеличение их характерных размеров и ослабление интенсивности, а также

появляются новые пространственные структуры (“артефакты” реконструкции). Из рисунков 7 и 8 видно, что случайные погрешности определения ТЕС незначительно влияют на результаты реконструкции в случае, когда относительный уровень шума не превышает 0,5 %. При увеличении уровня шума происходит значительное замывание исследуемых неоднородных структур. Стоит отметить, что данные ошибки реконструкции ожидаемы и объясняются тем, что итерационный алгоритм ART (5) минимизирует норму отклонения $\|LN - TEC\|$.

Заключение

Результаты численных расчетов показали, что методы спутниковой радиотомографии ионосферы в отсутствии ошибок ТЕС и неточностей начального приближения демонстрируют хорошее восстановление крупномасштабных ионосферных неоднородностей. Неточности в параметрах начального приближения регулярного ионосферного профиля приводят к ошибкам реконструкции. Случайные погрешности измерения ТЕС при незначительном уровне шума слабо влияют на результат реконструкции, однако его увеличение существенно искажает детализацию структур. Таким образом, полученные результаты демонстрируют устойчивость рассматриваемых методов к умеренным погрешностям экспериментальных данных.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (Задание № FZZE-2023-0004).

Список использованных источников

1. Куницын В. Е. Радиотомография ионосферы / В. Е. Куницын, Е. Д. Терещенко, Е. С. Андреева. – М: ФИЗМАТЛИТ, 2007. – 336 с.
2. Андреева Е. С. Радиотомографический и радиозатменный метод исследования ионосферы / Е. С. Андреева, Н. А. Бербенева, В. И. Захаров, В. Е. Куницын. // Радиотехника и электроника. 2000. – Т. 1. № 1. – С. 74–80.
3. James H. G. Sura heating facility transmissions to the cassiope/e-pop satellite / H. G. James, V. L. Frolov, E. S. Andreeva, A. M. Padokhin, C. Sieftring. // Radio Science. 2017. – Vol. 52. Issue 2. – P. 259–270.
4. Дэвис К. Радиоволны в ионосфере / К. Дэвис. – М.: Мир, 1973. – 504 с.

Особенности ремонта и обслуживания станков ЧПУ с системой управления типа “Fanuc”

Кетев В.В., Фискин Е.М.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

ketev.vova@mail.ru, fmm@rambler.ru

В статье представлены описание станка с системой управления Fanuc, устройство и логика работы системы управления, в частности. А также методика и пример диагностирования неисправностей через встроенные функции системы.

Введение

Современное производство невозможно представить без использования станков с числовым программным управлением (ЧПУ), которые обеспечивают высокую точность, производительность и автоматизацию процессов обработки материалов.

Актуальность темы ремонта и обслуживания станков с ЧПУ становится все более значимой. Эффективная методика обслуживания и ремонта позволяет не только продлить срок службы оборудования, но и минимизировать время простоя, что в условиях конкурентного рынка является важным фактором для повышения экономической эффективности предприятия.

На предприятии большую часть оборудования занимает парк токарно-фрезерных станков G-42HA-DET, изображение представлено на рисунке 1.



Рисунок 1. Токарно-фрезерный станок G-42HA-DET.

Станок G-42HA-DET [1] — это токарный станок, который используется для выполнения различных операций механической обработки. Основные области применения этого станка включают:

Точение: Основная функция токарного станка — это точение, которое позволяет обрабатывать цилиндрические и конусные поверхности заготовок. Это может включать как простое точение, так и сложные контуры.

Нарезание резьбы: Станок может использоваться для нарезания различных видов резьбы (внешней и внутренней), что делает его полезным для производства деталей с резьбовыми соединениями.

Фрезерование: Некоторые модели могут быть оснащены дополнительными инструментами для выполнения фрезерных операций, что расширяет их функциональность.

Сверление: Станок может использоваться для сверления отверстий в заготовках, что также является важной операцией в механической обработке.

Обработка различных материалов: G-42HA-DET может обрабатывать различные материалы, включая черные и цветные металлы, а также пластики.

Производство мелкосерийных и единичных деталей: Станок подходит как для серийного производства, так и для изготовления единичных деталей по индивидуальным заказам.

В целом, G-42HA-DET является универсальным инструментом в механической обработке и широко используется в машиностроении, ремонте, производстве деталей и других отраслях промышленности.

В таблице 1 приведены основные характеристики станка.

Таблица 1- Основные характеристики станка G-42HA-DET

Модель	G-42HA-DET
Управляемые оси	X, Y, Z, C
Макс. диаметр прутка	42 мм
Макс. длина обработки	Диаметр прутка x 2,5-3
Макс. размер торцевого сверления	Неподвижное сверло: ф13 мм Вращающееся сверло: ф6 мм
Макс. размер торцевого нарезания резьбы	Неподвижный метчик: M10 Вращающийся метчик: M5
Макс. диаметр поперечного сверления	Вращающееся сверло: ф6 мм
Макс. размер поперечного нарезания резьбы	Вращающийся метчик: M5
Тип цанги шпинделя	173E
3-кулачковый патрон	6"

Револьверная головка	8-позиционная/ с серво управлением
Перемещение по оси X	140 мм
Перемещение по оси Z	160 мм
Перемещение по оси Y	120 мм
Быстрое перемещение	24 м/мин
Индексация шпинделя	0,001°
Двигатель шпинделя (непрер./15 мин.)	3,7/5,5 кВт
Макс. скорость шпинделя	4500 об/мин
Двигатель управляемой оси	0,75 кВт (управление Fanuc) 1 кВт (X,Z), 0,75 кВт (Y) (управление Mitsubishi)
Двигатель инструментального шпинделя	0,75 кВт (управление Fanuc) 1 кВт (управление Mitsubishi)
Гидравлический двигатель	0,75 кВт
Двигатель СОЖ	0,75 кВт
Двигатель смазки	0,0035 кВт
Вращающийся инструмент/ цанга	Поперечный: 3/ER16 (ф10 мм) Торцевой: 3/ER1 (ф7 мм), Доп. опция: 2/ER20 (ф13 мм)
Размер хвостовика инструмента для наружной обработки	16 x 16 мм
Макс. размер расточной оправки	Ф20 мм
Цанга неподвижного инструмента для внутренней обработки	ER16 (ф10 мм), Доп. опция: ER20 (ф13 мм)
Отверстие шпинделя	Ф46 мм
Высота центра шпинделя	1120 мм
Требуемый источник питания	3ф 220В x 10 кВА
Требуемый сжатый воздух	6 кг/см ² x 50 Нл/мин
Размеры станка (ДxШxВ)	2060x1660x1700 мм С задней бабкой 2460x1660x1700 мм
Вес нетто	2200 кг

Система управления станка

Станок управляется системой ЧПУ Fanuc Series 0i-TF Plus.

Fanuc Series 0i-TF Plus — это современная система числового программного управления (ЧПУ), разработанная компанией Fanuc, которая широко используется в станках с ЧПУ, таких как токарные и фрезерные станки. Эта серия является продолжением линейки 0i и предлагает ряд

улучшений и новых функций, которые делают её более эффективной и удобной в использовании.

Основные характеристики:

Интерфейс пользователя: Fanuc Series 0i-TF Plus имеет интуитивно понятный графический интерфейс, который упрощает процесс программирования и настройки станка. Это позволяет операторам быстрее осваивать систему.

Поддержка различных языков программирования: Система поддерживает стандартные языки программирования G-кодов, а также может работать с различными формами программирования, включая ISO и другие.

Расширенные функции обработки: Включает в себя функции для улучшения точности обработки, такие как адаптивное управление подачей и компенсация за износ инструмента.

Сетевые возможности: Fanuc Series 0i-TF Plus поддерживает Ethernet-соединение, что позволяет интегрировать систему в производственные сети и осуществлять удалённый мониторинг и управление.

Модульность: Система может быть адаптирована под различные типы станков и производственных процессов благодаря своей модульной архитектуре.

Поддержка многоосевых систем: Fanuc 0i-TF Plus может управлять многоосевыми станками, что делает её подходящей для сложных операций обработки.

Интеграция с системами автоматизации: Возможность интеграции с роботами и другими автоматизированными системами для повышения эффективности производства.

Использование системы в качестве простого решения для автоматизации работы отдельных станков и платформы для работы в составе ОЦ, производственной линии, участка, цеха в интеграции с DPA;

Существенное сокращение производственного цикла при изготовлении отдельных деталей, партий, в серийном производстве;

Возможность гибкой настройки ПО и оборудования в зависимости от задач и допусков по точности обработки;

Интуитивно понятная система программирования и внесения задач, построенная на отдельных кодах операций и блоках кодов для последовательно и параллельно выполняемых рутинных процессов из нескольких операций

В итоге пользователь получает технологический и экономический эффект за счет сокращения времени на рабочий цикл, снижения непроизводительного расхода электроэнергии и рабочего времени, повышения качества обработки с выбором уровня точности по допускам и стандартам.

Как функционирует ЧПУ

Система ЧПУ использует несколько микропроцессоров. Главный процессор управляет работой других микропроцессоров, каждый из которых имеет своё программное обеспечение и выполняет свою конкретную задачу[2]. Связь между процессорами осуществляется посредством адресов G и F (не путать с G и F-кодами, используемыми в программах обработки). Структурная схема ЧПУ представлена на рисунке 2.

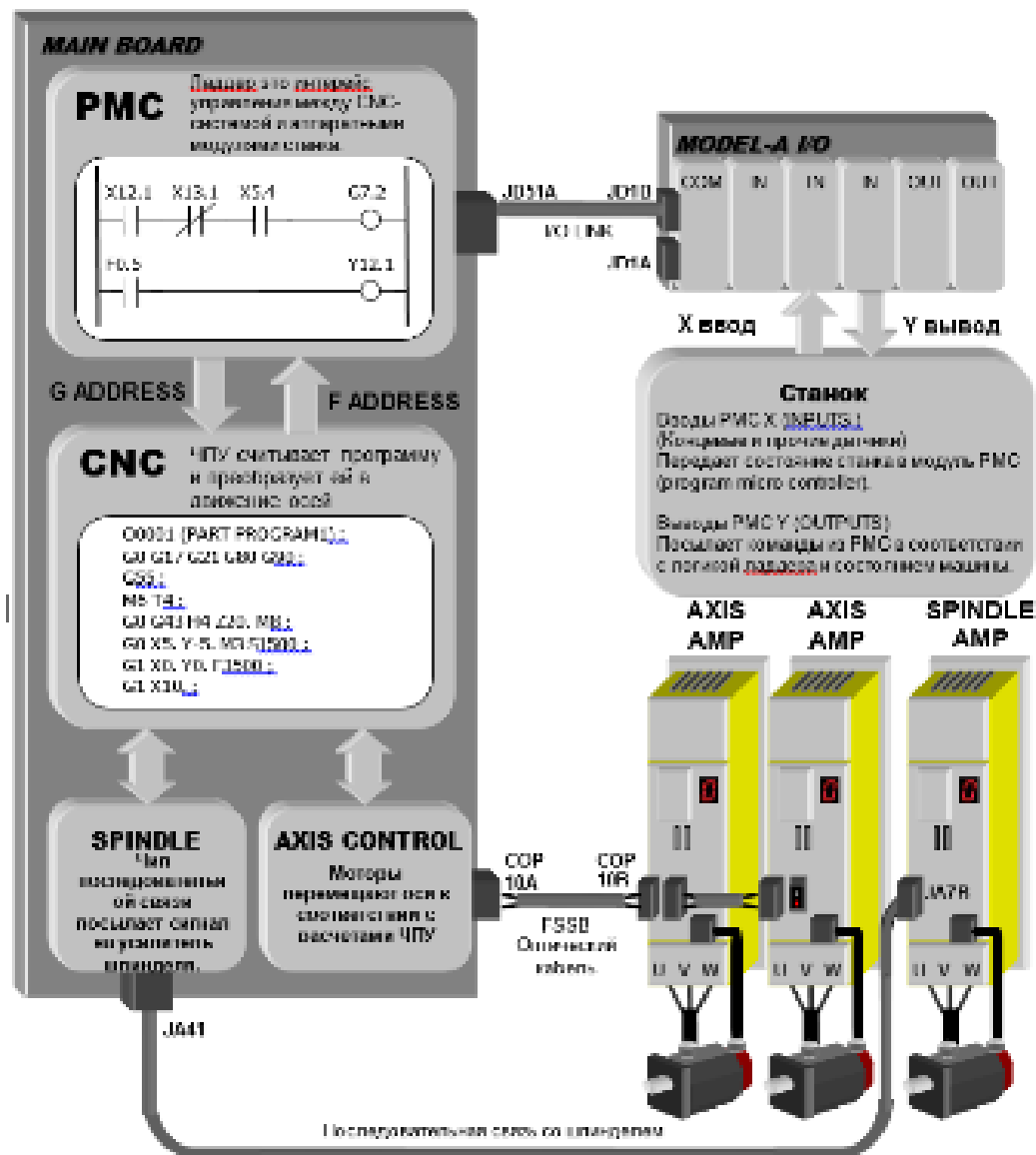


Рисунок 2. Структурная схема ЧПУ

Определение проблем

Производители станков могут создавать собственные сообщения об ошибках для своих машин. Эти сообщения генерируются от ПМК и отображаются в том же окне что и ошибки системы FANUC[3]. ПМК ladder формирует код ошибки.

Для просмотра кода ошибки нажмите кнопку “MESSAGE” на MDI панели.

Параметр 3111 bit 7 определяет, что окно появится автоматически при появлении ошибки, как показано на рисунке 3.



Рисунок 3. Пример автоматического появления окна ошибки

Ошибки контроллеров 16/18/21/0i [4]

000~999 FANUC-ошибки останавливают станок. Очищаются кнопкой RESET на стойке ЧПУ или включением и выключением станка. Описание ошибки нужно искать в соответствующих руководствах FANUC

1000~1999 Ошибки производителей станков генерируется ПМК. Эти ошибки останавливают станок Очищаются кнопкой RESET на стойке ЧПУ RESET. Описание ошибки нужно искать в соответствующих руководствах производителей станков.

2000~2999 Предупреждения производителей станков. Не останавливают работу станка. Описание этих ошибок следует искать в соответствующих руководствах производителей станков

3000~3124 Ошибки G-кода. Обычно возникают из за неправильно написанной программы производителем станка или оператором.

Определение адреса ошибок в ладдере

Причины возникновения ошибок можно отследить в Ладдере ПМК. Причины по которым возникают ошибки определяет производитель станка.

Пример:

- 1) Одновременно нажмите кнопки SPINDLE CW и SPINDLE CCW s. Появится сообщение об ошибке 1004.
- 2) Выберите окно PMC STATUS .(Нажмите “SYSTEM”- Выберите “PMC”- Выберите “PMCDGN”- Выберите “STATUS”)
- 3) Нажмите кнопки “SHIFT+J” на MDI клавиатуре.
- 4) Нажмите кнопку “SEARCH” в меню CNC.

Цифра 1 в витке A000 показывает что здесь произошла ошибка. Визуализация представлена на рисунке 4.

PMC SIGNAL STATUS								PMC RUN
ADDRESS	7	6	5	4	3	2	1	0
A0000	0	0	0	1	0	0	ALM1001 0	0
A0001	0	0	0	0	0	0	0	0
A0002	0	0	0	0	0	0	0	0
A0003	0	0	0	0	0	0	0	0
[A0000.0 :]

Рисунок 4. Меню CHS.

Вернитесь в экран PMCLAD для поиска активного витка (A0.4) используя W-SRCH.

Найдя активный виток как на рисунке 5, можете увидеть что X0014.4 и X0013.4 должны быть активированы одновременно для того чтобы произошла ошибка. Так же вы можете заметить что F1.1 (RESET) сбросит сообщение об ошибке.

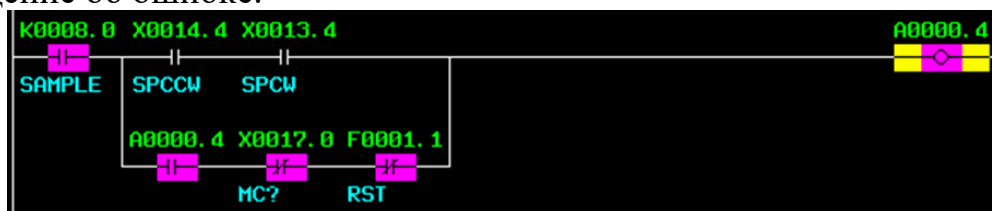


Рисунок 5. Меню ладдера.

Заключение

В данной статье были представлены описание станка с системой управления Fanuc, устройство и логика работы системы управления в частности. А также методика и пример диагностирования неисправностей через встроенные функции системы.

Список литературы

- 1.Токарный станок с ЧПУ G-42-NA-DET [Электронный ресурс]. URL: https://www.interprom-spb.ru/metal/tokarnye-stanki/tokarnye-stanki-s-chpu/tokarnyy-standok-s-chpu-g-42ha-det_ (дата обращения: 02.05.2025). – Текст : электронный.
- 2.Алгоритм диагностирования состояния токарных станков с ЧПУ// О.Н. Федонин, Д.И.Петрешин, А.В.Агеенко//УДК 681.5
- 3.FANUC Series 0i -MODEL D- Руководство по техобслуживанию
- 4.Ремонт ЧПУ FANUC CNC 0i [Электронный ресурс]. URL: <https://www.remontservo.ru/toljatti/pages/publications/article-449/remont-cnc-fanuc-0i#close> (дата обращения: 02.05.2025). – Текст : электронный.

Применение фильтра с подавлением боковых лепестков для повышения чувствительности измерений Иркутского радара некогерентного рассеяния

Кичигин И.В.^{1,2}, Ташлыков В.П.², Лебедев В.П.²

1 – Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

2 – Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

ivan.kichigin977@mail.iszf.irk.ru

В данном докладе рассматривается использование специального декодирующего фильтра, подавляющего боковые лепестки корреляционной функции, с целью повышения чувствительности Иркутского радара некогерентного рассеяния.

Введение

Метод некогерентного рассеяния (НР) – ключевой инструмент дистанционного зондирования ионосферы, позволяющий получать данные о концентрации электронов, температуре и ионном составе на высотах до 1000 км. Радары НР, включая Иркутский радар (ИРНР), нуждаются в мощных передатчиках и чувствительных приёмниках. ИРНР, единственный действующий в России, использует линейную поляризацию для измерения электронной концентрации методом фарадеевских замираний, что упрощает восстановление профиля электронной концентрации (N_e), но требует высокого разрешения и дальностной чувствительности.

Одной из важнейших задач при планировании экспериментов методом НР является выбор зондирующего сигнала. Тип модуляции и форма огибающей сигнала определяются целями эксперимента и характеристиками изучаемого объекта. На ИРНР, например, для измерения концентрации электронов в F2-слое ионосферы используется фазоманипулированный сигнал длительностью около 200 мкс с кодовой последовательностью Баркера, тогда как для измерений температур плазмы применяется одиночный длинный импульс длительностью порядка 700 мкс. Выбор зондирующего сигнала напрямую влияет на метод обработки рассеянного сигнала. Декодирование фазоманипулированного сигнала (например, кодом Баркера) обычно осуществляется с помощью согласованной фильтрации, когда импульсная характеристика декодирующего фильтра представляет собой временно-инверсную копию излучённого сигнала.

Фазоманипулированные коды, в частности бинарные коды Баркера длиной 5, 7, 9, 11 и 13, позволяют повысить дальностное разрешение без сокращения длины импульса, обладая автокорреляционной функцией (АКФ) с единственным высоким главным лепестком и сравнительно низкими боковыми лепестками (у кодов Баркера все боковые лепестки АКФ имеют одинаковую амплитуду, равную 1). Однако при обработке реальных сигналов НР даже такие боковые лепестки могут приводить к ложным

отражениям и затруднять разделение близко расположенных слоев ионосферы или целей. Особенно остро проблема проявляется при накоплении сигнала за длительное время: суммарный уровень помех и фоновой амплитуды увеличивается, что может быть вызвано влиянием боковых лепестков. Поэтому актуально применение специальных фильтров, способных устранить влияние боковых лепестков на принимаемый сигнал [3, 4].

Главная задача настоящей работы — повысить чувствительность измерений мощности сигнала на ИРНР за счёт применения декодирующего фильтра с подавлением боковых лепестков (ДФПБЛ, англ. sidelobe-free decoding filter). Метод вычисления импульсной характеристики такого фильтра впервые был предложен в работе [1]. В контексте метода НР использование фильтров, подавляющих боковые лепестки, подробно рассмотрено в работе [2]. Ожидается, что применение ДФПБЛ позволит увеличить дальностную детектируемость слабых сигналов за плотными слоями ионосферы, улучшить разделение близких по высоте отражений и выявить тонкие структуры в ионосферном плазме.

Материалы и методы

В общем случае принимаемый сигнал радара некогерентного рассеяния представляет собой совокупность откликов от распределённых по высоте слоёв плазмы. После излучения кодированного сигнала $s(t)$ и отражения от ионосферы, на приёме производится декодирование — свёртка принятого сигнала с импульсной характеристикой $h(t)$ декодирующего фильтра. При классической согласованной обработке $h(t)$ считается по формуле:

$$h_c(n) = \sum_{j=0}^{n_B-1} a_j \delta(n - jn_s), \quad n = -\infty, \dots, \infty, \quad (1)$$

где a_j — элемент бинарной последовательности (например, кода Баркера), δ — дискретный импульс, равный 1 при $n = 0$ и 0 при всех остальных n .

Такая фильтрация максимизирует отношение сигнал/шум и обеспечивает на выходе автокорреляционную функцию, форма которой определяется свойствами применённого кода. Для идеального кода Баркера длины N основной пик АКФ равен N , а уровень боковых лепестков — единица.

Для полного устранения боковых лепестков применяют специальные фильтры, импульсная характеристика которых отличается от излученного сигнала. Идея заключается в подборе такой $h(t)$, чтобы свёртка $s(t) * h(t)$ дала узкий единичный импульс без побочных максимумов. Такая импульсная характеристика рассчитывается по формуле:

$$h(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} \frac{Q(\omega)}{H_c(\omega)} e^{in\omega} d\omega, \quad (2)$$

где

$$Q(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} q(n) e^{-in\omega} \quad (3)$$

и

$$H_c(\omega) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h_c(n) e^{-in\omega}. \quad (4)$$

Если у исходной последовательности $s(t)$ нет нулей на частотной оси, то теоретически можно реализовать точный инверсный фильтр, полностью подавляющий боковые лепестки корреляционной функции.

В случае многих практических кодов это условие выполняется, и фильтр с нулевыми боковыми лепестками существует практически для любой бинарной последовательности.

Однако идеальный инверсный фильтр, как правило, имеет бесконечную импульсную характеристику (бесконечную длину) и не линеен по фазовой характеристике. Для его реализации приходится ограничивать длину фильтра. Например, классический подход в работе [1] реализует приближённый инверсный фильтр путём разложения $1/S(f)$ в ряд Фурье и обрезания ряда до конечного числа членов.

Моделирование сигналов ИРНР

Для оценки эффективности фильтра с подавлением боковых лепестков проведено моделирование упрощённого сигнала радара. Предполагалось наличие точечного объекта (идеализированного отражателя) на высоте 500 км. Сформированный зондирующий сигнал представлялся дискретной последовательностью, модулированной кодом Баркера. Для простоты модель не учитывала потери мощности с дальностью и другие эффекты распространения — этого достаточно для сравнительного анализа алгоритмов обработки. Отражённый сигнал представлен свёрткой переданного импульса с импульсной характеристикой точки-отражателя. В полученный отклик добавлялся аддитивный гауссов шум с заданным отношением сигнал/шум (ОСШ). Затем полученный сигнал обрабатывался двумя способами: согласованной фильтрацией и фильтрацией с подавлением боковых лепестков.

Для каждого случая рассчитывались амплитуда главного лепестка выходного сигнала и уровень сильнейшего побочного лепестка. Следует отметить, что для приведения модели к реальным условиям в сигналы были добавлены передний и задний фронты импульса. В реальном передатчике резкое включение и отключение радиоимпульса невозможно из-за

ограничений по спектру, поэтому импульс имеет участки нарастания и спада мощности. В модели к прямоугольному кодированному импульсу добавлялись синусоидальные огибающие заданной длительности на его начале и конце, а также учитывались переходные фронты при смене фазы между элементами кода. Это несколько расширяет спектр сигнала и может приводить к появлению мелких колебаний на концах компрессированного импульса при применении дискретного преобразования Фурье для фильтрации.

Результаты моделирования показали качественное преимущество алгоритма с подавлением боковых лепестков. В качестве примера на рисунке 1 приведено сравнение выходных сигналов после обработки обычным согласованным фильтром и фильтром ДФПБЛ для кодового импульса. Видно, что согласованная фильтрация (чёрная кривая) даёт заметные боковые лепестки, тогда как при использовании ДФПБЛ (синяя кривая) подавляются посторонние максимумы и остаётся только основной пик. При этом амплитуда основного лепестка во втором случае несколько ниже из-за шумовых потерь фильтра, однако выигрыш состоит в устранении мешающих боковых лепестков.

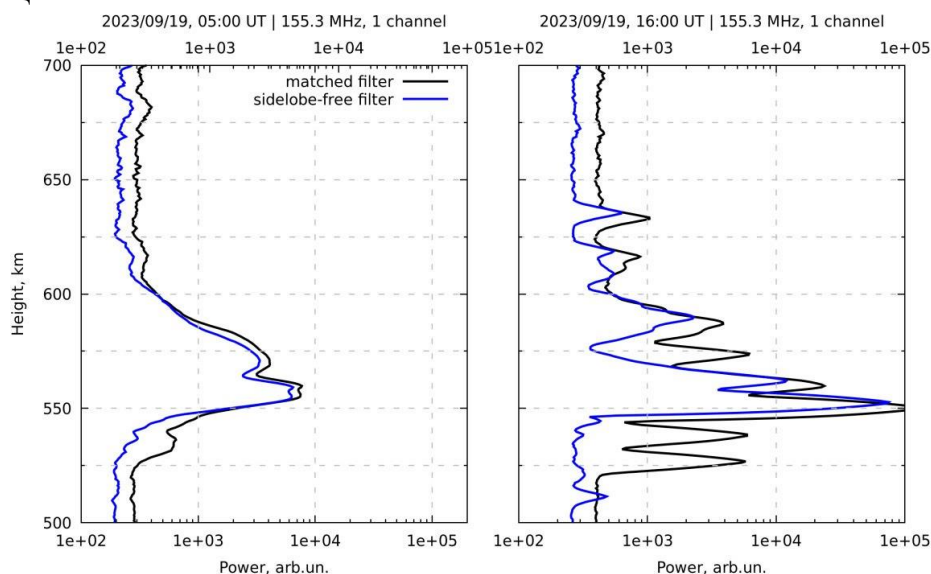


Рисунок 1. Сравнение согласованного фильтра (чёрная линия) и фильтра с подавлением боковых лепестков (синяя линия)

Для 5-битного кода Баркера было проведено сравнение выходного относительного ОСШ в зависимости от входного отношения сигнал/шум. Обнаружено, что фильтр с подавлением боковых лепестков обеспечивает более высокое выходное ОСШ по сравнению с согласованной обработкой на всём диапазоне моделируемых условий. Иными словами, даже с учётом неизбежного уменьшения амплитуды главного лепестка (потерь фильтра) выигрыш от отсутствия боковых лепестков превалирует. Это согласуется с расчётами в работе [2], показавшими, например, что для кода Баркера длины 13 снижение ОСШ при декодировании без лепестков составляет всего ~5%,

тогда как боковые лепестки вносят вклад $\sim 7\%$ в мощность отражённого сигнала и могут маскировать тонкие слои в ионосфере.

В результате анализа полученных отношений сигнал-шум согласованной обработки и ДФПБЛ было решено сделать сравнение их работы. На *Рисунок 2. Сравнение полученной разности отношений сигнал-шум от нового фильтра и согласованной обработки.* ось X — кол-во юнитов бинарных кодов из работы Лехтинена [2], ось Y — заданное при моделировании точечного источника отношение сигнал-шум. Если B — полученное отношение амплитуд главного лепестка и максимального бокового лепестка для согласованного фильтра, A — то же отношение для фильтра с подавлением боковых лепестков, то цветом приведена разность (A — B), т.е. теплые цвета означают, что лучше новый фильтр, холодные — лучше согласованный фильтр.

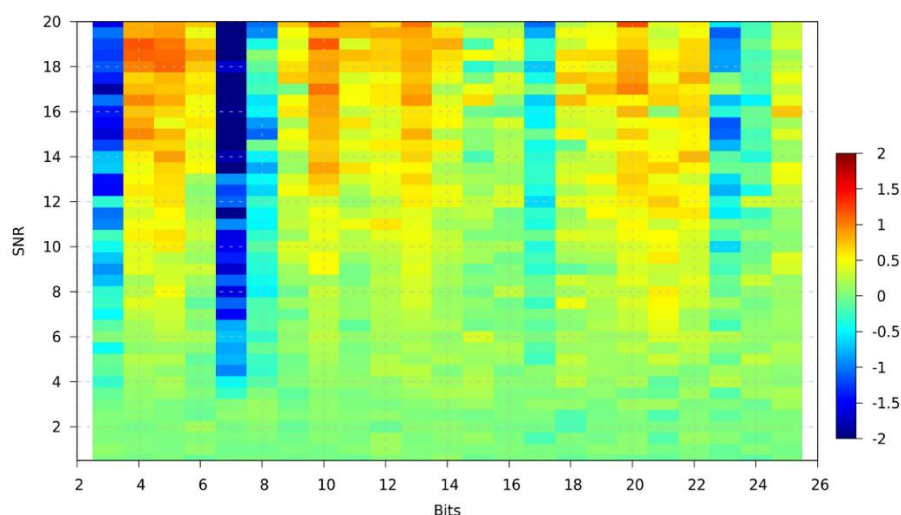


Рисунок 2. Сравнение полученной разности отношений сигнал-шум от нового фильтра и согласованной обработки.

Следует учесть, что применение ДФПБЛ вызывает сдвиг кажущейся дальности: из-за конечной длительности импульсной характеристики фильтра главный отклик оказывается немного смещён относительно реальной высоты. В наших расчётах этот сдвиг оценивается как $k = \frac{T}{2n}$, где T — длина фильтра (в отсчётах), а n — число отсчётов, соответствующее длительности одного бода сигнала. При обработке реальных данных ИРНР эта поправка может быть учтена при интерпретации высотных профилей.

Эксперимент

Одной из актуальных задач при обработке данных ИРНР является выявление отражений от искусственных космических объектов (спутников и космического мусора). Такие отражения проявляются как кратковременные резкие всплески сигнала на отдельных высотах и создают помехи для измерения параметров ионосферы. С одной стороны,

отслеживание подобных целей представляет самостоятельный интерес (для определения их орбитальных параметров, скоростей и пр.), с другой — их сигнал желательно удалять при анализе ионосферных данных. Применение фильтра с подавлением боковых лепестков облегчает эту задачу. В ходе реальных измерений на ИРНР была зарегистрирована серия сигналов, в одном из которых присутствовало отражение от космического объекта на высоте около 600 км (*Рисунок 3*). Сравнение обработки этого случая двумя способами показало, что ДФПБЛ несколько снижает уровень шумовой составляющей и позволяет более уверенно идентифицировать сигнал КО на фоне помех. Кроме того, улучшилась оценка амплитуды и ширины отражённого импульса от объекта. В дальнейшем такие фильтры могут применяться для автоматического обнаружения и фильтрации следов спутников в данных радара.

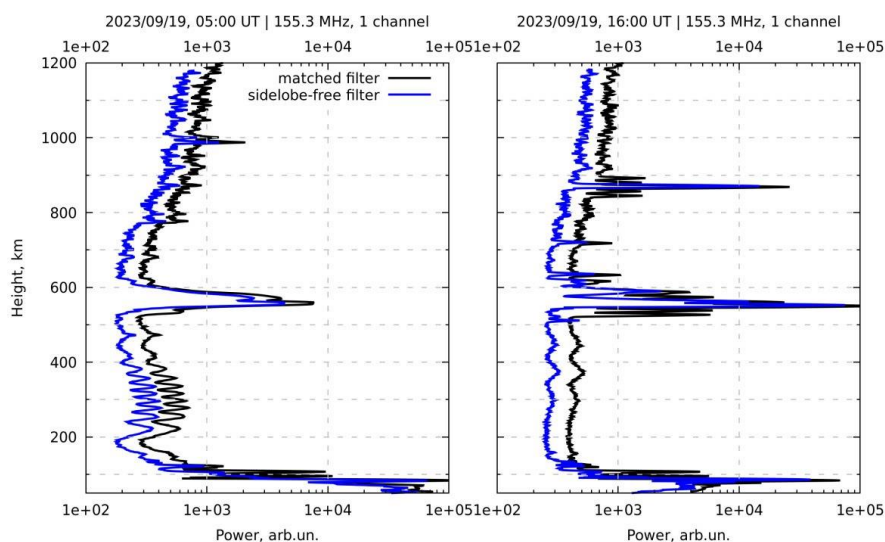


Рисунок 3 – Сравнение обработок на примере реальных данных с КО на высоте 600 км.

Как отмечалось, ИРНР благодаря линейной поляризации сигнала способен напрямую проводить фарадеевские измерения электронной концентрации. Процедура восстановления N_e обычно основана на решении обратной задачи по измеренным АКФ сигналов и часто использует многопараметрические модели, чувствительные к помехам.

Кроме того, фильтр ДФПБЛ, как ожидается, может помочь выявить слабые особенности распределения N_e , которые ранее сглаживались из-за влияния боковых лепестков. Практический интерес представляет зависимость эффективности фильтра от степени накопления сигналов (количества усредняемых реализаций). В экспериментах с ИРНР было проанализировано влияние числа накоплений на профили мощности, полученные двумя методами декодирования. Установлено, что преимущество ДФПБЛ заметно лишь при относительно небольшом

количестве усредняемых реализаций. Если же выполняется большое накопление (например, около 1000), то разница между результатами согласованной и несогласованной обработок практически исчезает. Это объясняется тем, что при длительном накоплении случайный шум усредняется, и уровень боковых лепестков от слабых целей становится пренебрежимо мал по сравнению с сигналом от основных слоёв. Следовательно, на режимах с большим количеством интеграций применение сложного фильтра необязательно, однако в условиях ограниченного времени накопления (или низкой мощности радара) использование ДФПБЛ даёт выигрыш в чувствительности.

Заключение

В работе рассмотрено применение декодирующего фильтра с подавлением боковых лепестков (ДФПБЛ) на Иркутском радаре НР для повышения чувствительности и точности измерений. Моделирование показало, что использование такого фильтра позволяет полностью устранить боковые лепестки корреляционной функции, что значительно улучшает выделение слабых сигналов на фоне мощных отражений. Несмотря на небольшое снижение пикового отношения сигнал/шум по сравнению со стандартной согласованной обработкой, данный подход даёт выигрыш за счёт устранения ложных откликов и повышения реального пространственного разрешения по высоте. Экспериментальные данные ИРНР подтверждают, что фильтр ДФПБЛ облегчает обнаружение и подавление помех от пролетающих космических объектов, а также улучшает качество восстановления N_e ионосферы методом фарадеевских измерений. Эффект наиболее заметен при ограниченном числе усредняемых реализаций и в условиях наличия близкорасположенных по высоте слоев различной интенсивности. Полученные результаты согласуются с ранее опубликованными работами других авторов и подтверждают перспективность применения фильтров с подавлением боковых лепестков на НР-радарх. В дальнейшем планируется учесть влияние доплеровского смещения частоты на характеристики ДФПБЛ и оптимизировать параметры фильтра для различных динамических условий в ионосфере.

Список литературы

1. Rihaczek A.W., Golden R.M. Range sidelobe suppression for Barker codes // IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems. – 1971. – Vol. AES-7, No.6. – P. 1087–1092.
2. Lehtinen M.S., Damtie B., Nygrén T. Optimal binary phase codes and sidelobe-free decoding filters with application to incoherent scatter radar // Annales Geophysicae. – 2004. – Vol. 22, No.5. – P. 1623–1632.
3. Markkanen M., Vierinen J. Polyphase alternating codes // Annales Geophysicae. – 2008. – Vol. 26. – P. 781–793.

4. Vierinen J., Lehtinen M.S., Orispää M., Virtanen I.I. Transmission code optimization method for incoherent scatter radar // *Annales Geophysicae*. – 2008. – Vol. 26, No.5. – P. 2923–2927.

Изучение ионосферных эффектов, вызванных запуском сверхтяжёлой космической ракеты Space X Starship 13 октября 2024 г, по данным ГНСС

Климин С.В., Ишин А.Б., Билдаев И.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

stas.klimin@inbox.ru, ishin.artem@yandex.ru, iamilia5225@gmail.com

По данным GPS-измерений на плотной сети станций глобальных навигационных спутниковых систем исследованы возмущения полного электронного содержания, сопровождавшие запуск сверхтяжёлой ракеты носителя Space X Starship 13 октября 2024 г., с испытательного космодрома Starbase в штате Техас, США. Построены и проанализированы двумерные пространственные распределения возмущений полного электронного содержания, карты поля скоростей перемещения ионосферных возмущений, а также диаграммы дальность - время, отражающие эволюцию отклика ионосферы на техногенное воздействие. В результате изучения пространственной картины распределения полного электронного содержания выявлены перемещающиеся ионосферные возмущения двух типов, близких по форме к кольцевым волнам, расходящимся из эпицентра.

Введение

Исходными данными являлись ряды вариаций «наклонного» полного электронного содержания (ПЭС), рассчитанного вдоль луча «приемник – спутник GPS», а также ряды значений азимута $\alpha_S(t)$ и угла места $\theta_S(t)$ спутника GPS [1]. Для анализа отбирались непрерывные ряды длительностью не менее 2,3 ч. По известным значениям $\alpha_S(t)$, $\theta_S(t)$ рассчитывались координаты ионосферных точек (точек пересечения лучей «приемник – спутник» со сферой, расположенной на высоте h_{\max} главного максимума ионизации) для $h_{\max} = 300$ км. С целью нормировки амплитуды возмущений ПЭС исходные значения «наклонного» ПЭС преобразовывались в эквивалентное «вертикальное» значение $I(t)$ по известному соотношению [1]. Для выделения возмущений, вызванных землетрясением, нормированные ряды ПЭС подвергались сглаживанию с временным окном 2 мин (для удаления высокочастотных колебаний) и удалению линейного тренда с временным окном 10 мин.

Определение динамических характеристик ионосферных возмущений выполнялось с помощью метода SADM-GPS, суть которого заключается в следующем. Для расчета скорости и направления движения перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ) из большого числа станций GPS выбираются три пункта, расстояния между которыми не превышает половины длины волны возмущения. Такая конфигурация приемников GPS представляет собой GPS-решетку с минимально необходимым количеством элементов. На основе измерений

пространственных и временной производных ПЭС, выполненных на GPS-решетке, производится вычисление средних за выбранный интервал времени величин горизонтальной компоненты фазовой скорости и азимута распространения ПИВ.

В нашей работе мы рассматриваем запуск сверхтяжелой ракеты-носителя, как достаточно мощное антропогенное воздействие на ионосферу [2,3]. Любопытно, что воздействия происходят непосредственно на ионосферную плазму, а не через акустические волны, как от землетрясений или других событий. Сами такие воздействия представляют интерес из-за их повторяемости, предсказуемости и точной локализации, как во времени, так и в пространстве (в отличие, от геомагнитных бурь или откликов на землетрясения). В качестве эксперимента был выбран запуск 13 октября 2024 года сверхтяжёлой ракеты-носителя Space X Starship.

Запуск корабля Starship 13 октября 2024 г. (12:25 UT).

Используя 30-с данные GPS и ГЛОНАСС сети GEONET удалось наиболее точно определить время появления ПИВ: первые возмущения в ионосфере зарегистрированы спустя 300 с (5 мин) после запуска. Изучение параметров и свойств ионосферных возмущений, вызванных запуском Starship продолжается. В настоящей работе представлены результаты регистрации возмущений ПЭС, обусловленных запуском ракеты, при этом основное внимание уделяется детальному анализу характера движения и интенсивности возмущений ПЭС различных типов.

Во время запуска ракеты в регионе действовало множество станций. Как мы видим, ракета взлетала с побережья в восточном направлении (рисунок 1 правая часть). К сожалению, в мексиканском заливе нет постоянно действующих станций. Тем не менее, некоторые лучи спутник-приемник позволили зарегистрировать возмущения электронной концентрации (который проявились в ПЭС) в области воздействия реактивной струи двигателей ракеты-носителя на ионосферную плазму (рисунок 1).

Ряды вариаций с максимальными отклонениями ПЭС для лучей в области воздействия анализировались более подробно. Так были проанализированы пары «спутник-приемник» ионосферные точки [4] которых были вблизи траектории во время работы реактивных двигателей ракеты-носителя.

Вариации ПЭС и положение ионосферных точек для станции meri

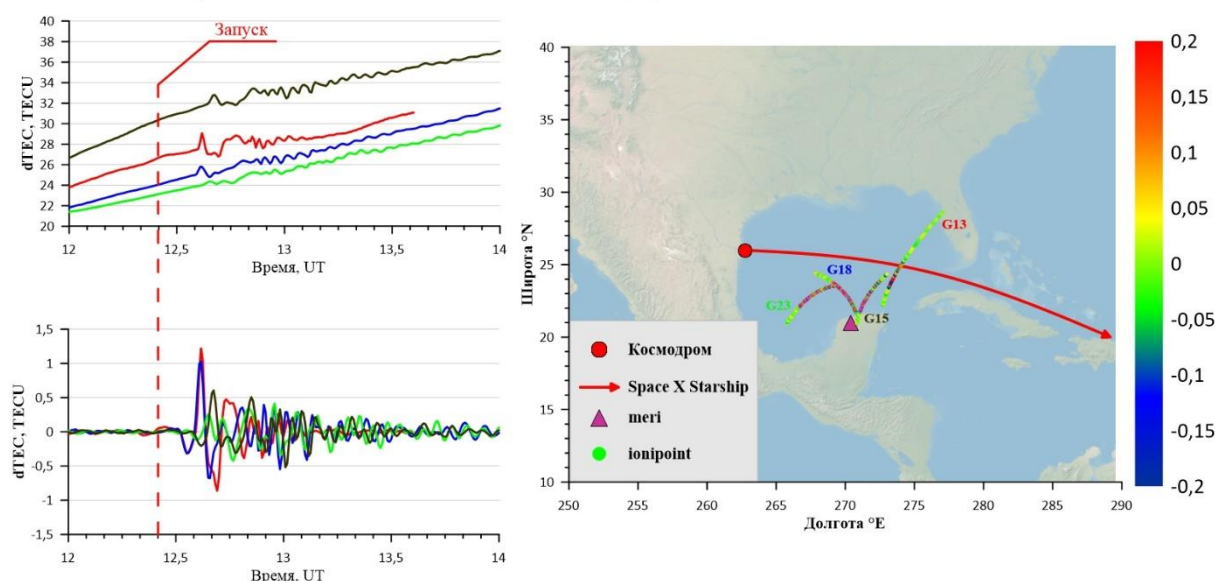


Рисунок 1 – Неотфильтрованные (левая верхняя панель) и отфильтрованные (левая нижняя панель) вариации ПЭС, и карта эксперимента (правая панель). На карте красной линией обозначена траектория движения ракеты-носителя, треугольник – станция ГНСС meri. Цветные линии -положение ионосферных точек для лучей с 4 анализируемых спутников за 2 часа (с 12 до 14 UT). Цветом ионосферной точки указано текущее значение отфильтрованных вариаций ПЭС.

Для одной из станций, которая расположена близко к области воздействия ракеты (рисунок 1 правая панель), были проанализированы вариации ПЭС полученные по лучам с разных спутников. Видно, что вблизи пролёта ракеты ионосферные точки принимают различные цвета от тёмно-синего до ярко-красного согласно шкале цветов в диапазоне от -0.2 до 0.2 TECU. Однако обратив внимание на отфильтрованные данные, видно, что амплитуда возмущений, полученная станцией из данных со спутника G13 равна 1.2 TECU, что в свою очередь является, достаточно, большим значением. На неотфильтрованных данных мы видим, что до запуска ракеты положение ионосферы было спокойным в области пролёта ракеты и невозмущённым. Спустя несколько минут после запуска появляются сильные как положительное возмущение, так и отрицательное. Даже спустя несколько часов колебания ионосферы становятся минимальными, но не равны нулю.

Анализ карт ионосферных точек показал, что волна возмущений, вызванная реактивной струёй двигателей ракеты, распространяется на север (рисунок 2). На картах мы можем подробно рассмотреть перемещение ионосферных возмущений, которые сменяются с положительных на отрицательные. Рисунки (2а-2б) демонстрируют появление первых самых ярких возмущений вблизи пролёта ракеты. На рисунках (2в-2д) видно

распространение волны в северном направлении с удлинением фронта волны от 5° до 9° градусов, а на рисунках (2д-2е) видно, что со временем амплитуда возмущений приближается к минимуму и спустя несколько часов после запуска и обстановка ионосферы возвращается к спокойному состоянию.

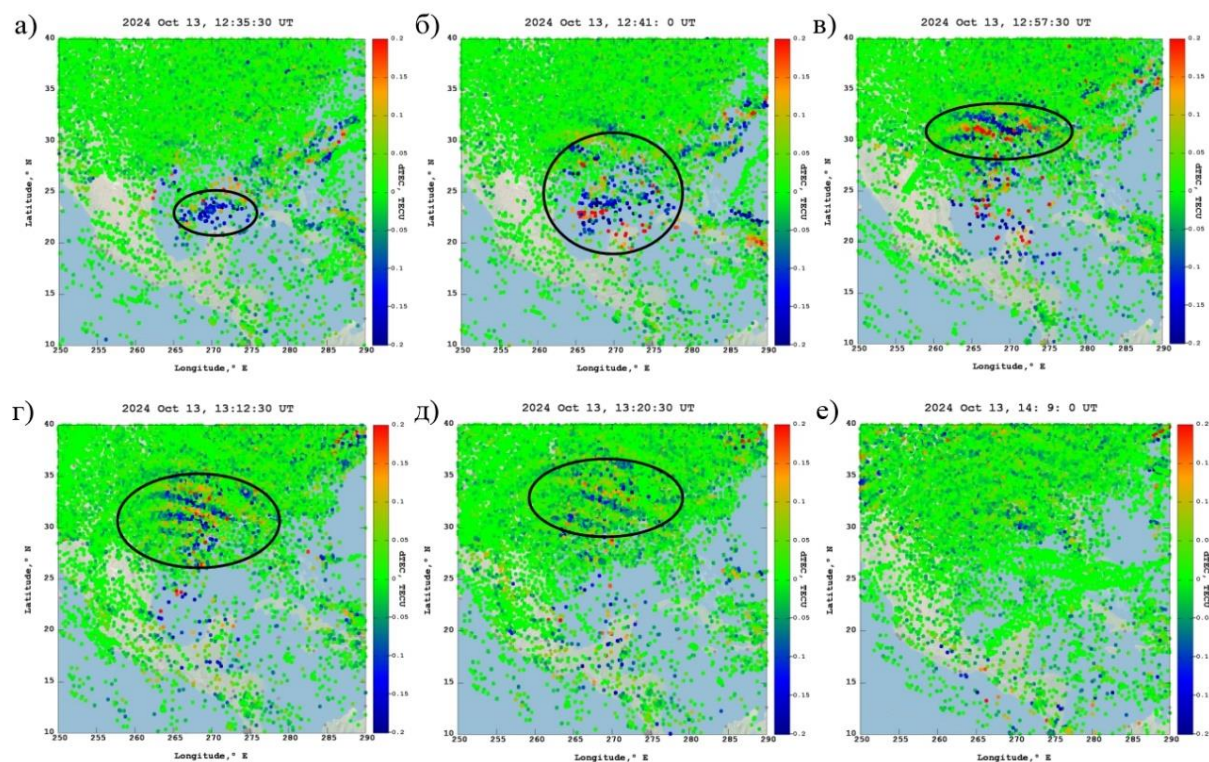


Рисунок 2 – Возмущения электронной концентрации в ПЭС

Исходя из данных о положении ионосферных точек во времени (рисунок 1 правая панель), было интересно посмотреть зависимость амплитуды возмущения ионосферной точки одного спутника для разных станций. Можно заметить, что для каждой станции угол пролёта спутника меняется и ионосферная точка смещается по карте. Соответственно луч спутник-приемник проходит через ионосферу под другим углом и данные об ионосфере с одного спутника для разных станций будет отличаться. На рисунке 3 на левой верхней панели продемонстрирована данная зависимость. На нижней левой панели на отфильтрованных данных ПЭС указаны максимумы ионосферных возмущений каждой точки для каждой станции. В своём исследовании мы отталкивались от станции meri которая зарегистрировала сильнейшие показатели возмущения вблизи пролёта ракеты со спутника G13. Исходя из этих соображений для остальных станций был выбран этот же спутник.

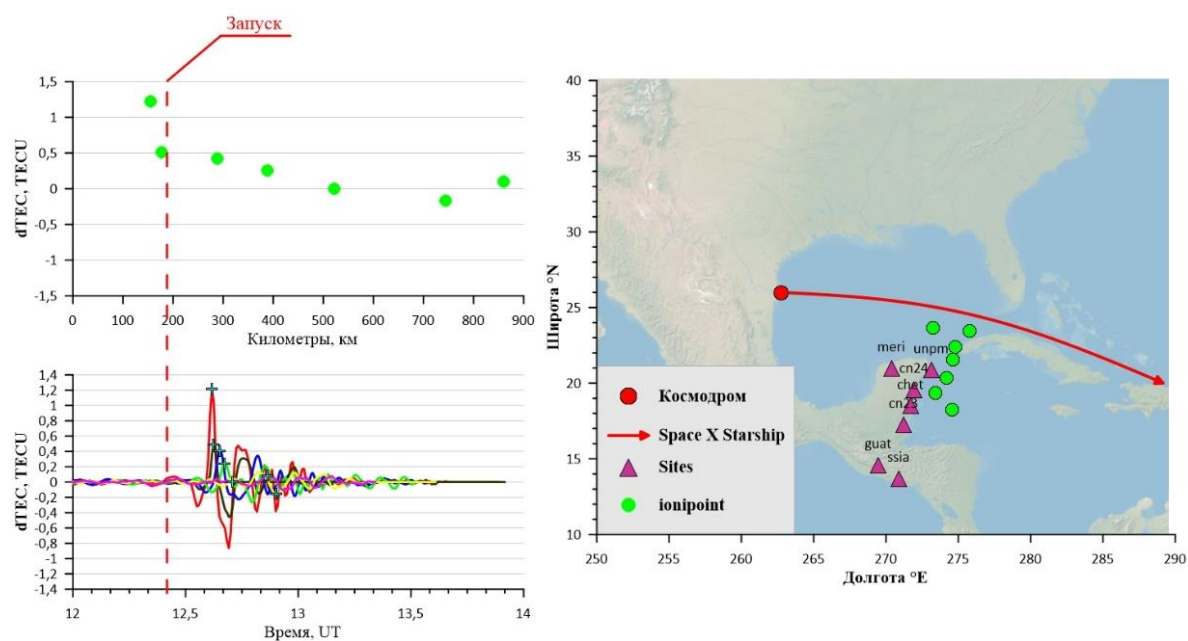


Рисунок 3 — Зависимость отклика ионосферных точек на луче спутник G13 – приёмник от удалённости станций от области пролёта ракеты

Для возмущения в дальней зоне диаграмма дальность-время строилась для отправной точки ракеты (космодрома). В нашем случае была выбрана точка с координатами 25.9972°N , 262.8434°E и все ионосферные точки в азимутальном секторе 0° - 45° (рисунок 4). Как было видно на картах ионосферных точек (рисунок 2), волна возмущения распространялась на север и немного на северо-восток. После построения диаграммы дальность-время, мы видим несколько фаз распространения возмущения для которых посчитали общую скорость распространения возмущения.

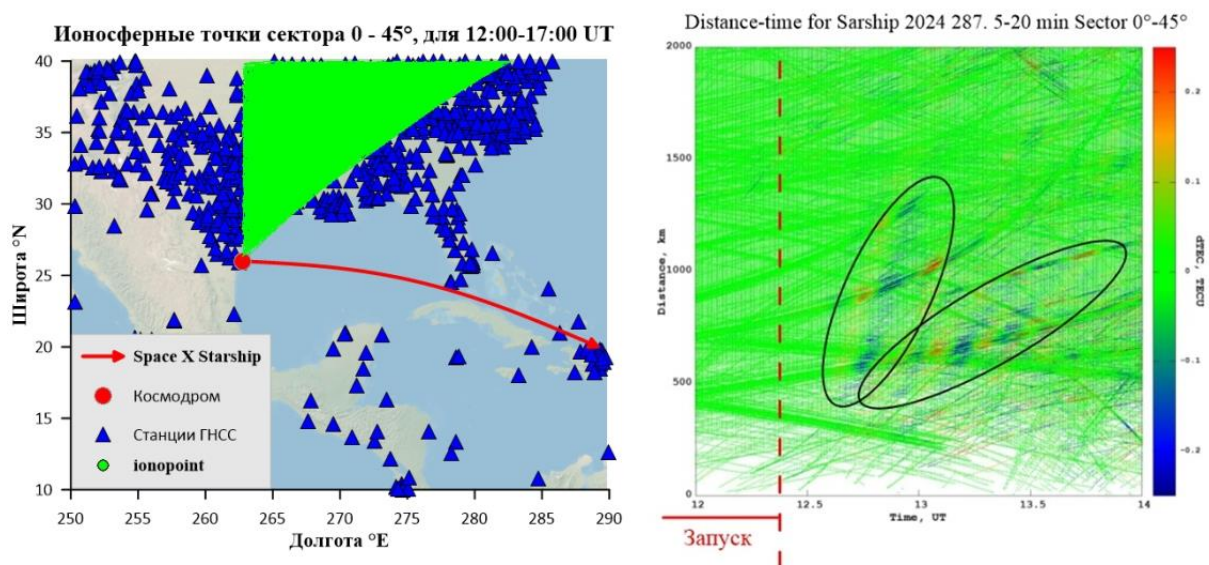


Рисунок 4 – Расположение условного «точечного» источника и ионосферных точек, использованных для построения диаграммы дальность-время.

Заключение

Полученные результаты:

Обнаружены возмущения ПЭС, вызванные воздействием двигателей ракет-носителей Starship.

Определены параметры этих возмущений:

Первые возмущения возникли через 300 секунд после запуска ракеты.

Возмущения разделились на две волны распространившиеся на север и на северо-восток.

Параметры возмущений в северном направлении:

1. Скорость оказывается равна примерно 3600 км/ч.
2. Длительность по времени составила 15 минут.
3. Длина волны была равна 900 км.

Параметры возмущений в северо-восточном направлении:

1. Скорость оказывается равна примерно 700 км/ч.
2. Длительность по времени составила 1 час.
3. Длина волны была равна 700 км.

Минимальное расстояние, на котором регистрировалось возмущение было 400 км от эпицентра, а максимальное 1300км.

Список литературы

1. Афраимович Э.А., Первалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: Изд- во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. 480 с.
2. Coster, A. J., Goncharenko, L., Zhang, S.-R., Erickson, P. J., Rideout, W., & Vierinen, J. (2017). GNSS observations of ionospheric variations during the 21 August 2017 solar eclipse. *Geophysical Research Letters*, 44, 12,041–12,048. <https://doi.org/10.1002/2017GL075774>
3. Goncharenko, L. P., Erickson, P. J., Zhang, S.-R., Galkin, I., Coster, A. J., & Jonah, O. F. (2018). Ionospheric response to the solar eclipse of 21 August 2017 in Millstone Hill (42N) observations. *Geophysical Research Letters*, 45, 4601–4609. <https://doi.org/10.1029/2018GL077334>
4. Слои ионосферы. Режим доступа URL: <https://www.radiouniverse.ru/book/lyubitelskie-antenny-korotkih-i-ultrakorotkih-voln/svoystva-ionosfery> (дата обращения 15.05.2023)

Анализ неисправностей возникающих при эксплуатации волоконно-оптических линий связи

Климов Н.Н.¹, Козиенко Л.В.¹, Чернов И.Н.¹, Шурыгин С.А.²

1 – Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск, Россия

2 – ОАО «РЖД», Центральная станция связи, Иркутская дирекция связи, Иркутск, Россия

klinn42@mail.ru, leo.kozienko@gmail.com, Ibopohl@mail.ru

Волоконно-оптические линии связи (ВОЛС) играют значительную роль в современных системах телекоммуникаций, обеспечивая передачу больших объемов данных с высокими скоростями. Их надёжность и стабильность имеют критическое значение для функционирования транспортной инфраструктуры, особенно в сфере железнодорожного транспорта, где бесперебойная связь напрямую влияет на безопасность и эффективность перевозок. Однако эксплуатация ВОЛС сопряжена с целым рядом технических и природных факторов, которые могут приводить к различным неисправностям и сбоям при передаче сигнала. Основой для анализа послужили данные системы мониторинга неисправностей ВОЛС, предоставленные Иркутской дирекцией связи Центральной станции связи – филиала ОАО «РЖД» за период с июня 2019 по декабрь 2021 года.

Введение

Благодаря совершенствованию технологий очистки кварцевого стекла уже в 1980-е годы удалось наладить производство одномодового оптического волокна с погонным затуханием порядка 0,2–1 дБ на км на длинах волн 1,3 и 1,6 мкм. В 1988 году был проложен трансатлантический волоконно-оптический кабель (ВОК) между Европой и США.

Для использования и внедрения современных средств связи Министерство путей сообщения уже в 1992 году внедрило в метрополитене г. Москва волоконно-оптическую связь в рамках совместного закрытого акционерского общества «Макомнет» с американской корпорацией Andrew. На основе этого положительного опыта в 1993 году менее чем за год была реализована оптическая связь между Москвой и Санкт-Петербургом [1]. Для реализации проекта была использована технология подвеса волоконно-оптического кабеля на опорах контактной сети.

ВОЛС на Восточно-Сибирской железной дороге

Строительство магистральных ВОЛС на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) началось на участке между станциями Тайшет и Гидростроитель по инициативе заместителя руководителя ЦШ МПС И.А. Здоровцева, начальника службы сигнализации и связи ВСЖД В.И. Зиннера и генерального директора АО «Волоконно-оптическая техника» С.А. Дмитриева. При строительстве также применялась технология подвеса кабеля на опоры контактной сети [1]. В дальнейшем

данный метод нашёл широкое применение при организации ВОЛС как на ВСЖД, так и на других железных дорогах страны.

В настоящее время протяжённость магистральных ВОЛС на ВСЖД составляет около 4,5 тыс. км. В отличие от медножильных кабельных линий волоконно-оптические кабели, как правило, не оснащаются специализированными диагностическими комплексами. Мониторинг состояния оптических линий осуществляется непосредственно приёмопередающей аппаратурой, контролирующей уровень оптического сигнала. Возникающие события (потеря сигнала, понижение допустимого уровня) фиксируются в единой системе мониторинга и администрирования (ЕСМА). При этом часть событий, а также их причина выявляются лишь в результате визуального осмотра при проведении плановых и восстановительных работ.

Основой для анализа неисправностей ВОЛС послужили данные системы мониторинга ЕСМА, собранные на ВСЖД за период с 5 июня 2019 года по 14 декабря 2021 года (2,5 года). Исследование охватывает около 100 случаев возникновения различных неисправностей, что позволяет выделить основные проблемы и их влияние на работу волоконно-оптических линий связи (рис. 1).

Неисправности ВОЛС за период 05.06.2019 - 14.12.2021

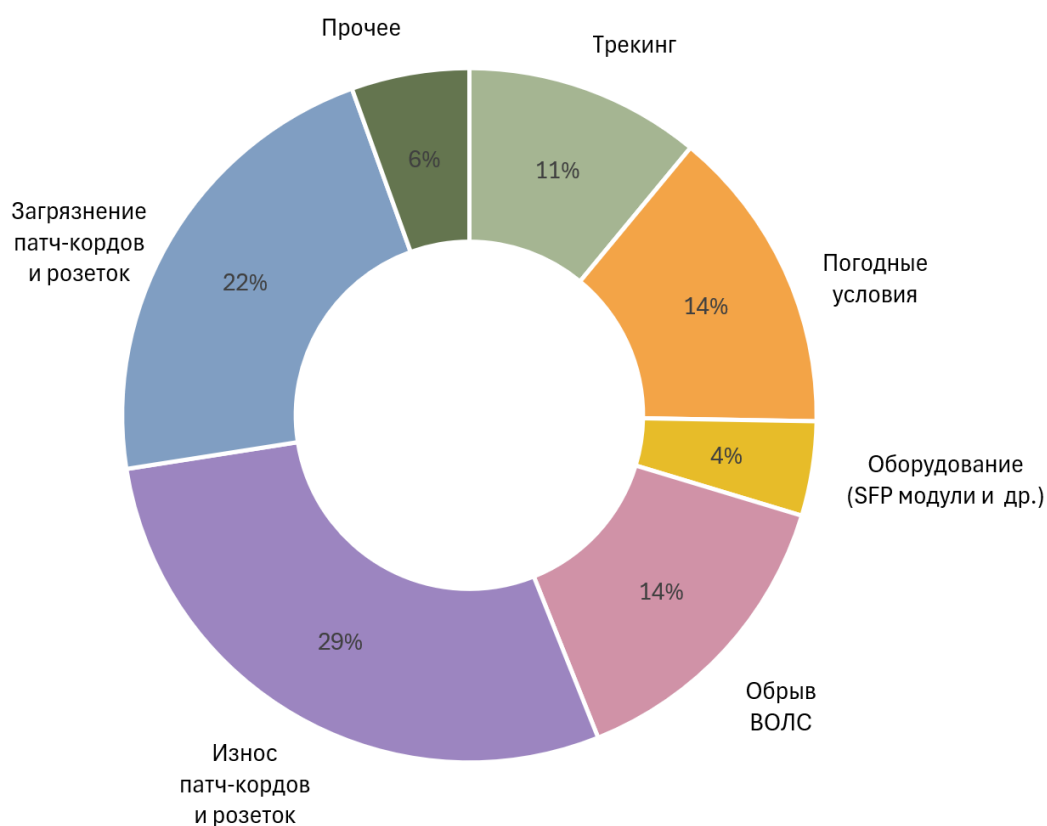


Рисунок 1. Основные причины возникновения неисправностей в ВОЛС

В результате анализа были выявлены следующие факторы, влияющие на работу ВОЛС:

Повышение затухания сигнала (51%) – фактически половина случаев связана с увеличением затухания в процессе эксплуатации, из них 29% вызвано износом оптических патч-кордов и розеток, а 22% – загрязнением оптических коннекторов и деформацией (изгибами) патч-кордов в телекоммуникационных шкафах и кроссах.

Перегиб оптоволоконного кабеля или патч-корда может привести к полной или частичной потере передаваемого сигнала. В зависимости от радиуса изгиба существует риск возникновения микротрещин, приводящих к увеличению потерь. При недостаточно большом радиусе изгиба увеличивается затухание оптического сигнала, а при слишком малом – возможны поломки световедущих частей оптических кабелей.

Крайне важна заделка оптоволоконна в оптическом разъёме, поскольку от этого зависит эффективность перехода световых импульсов в местах механических соединений. Поэтому во всех инструкциях по волоконно-оптическим линиям связи на подготовку и заделку оптических разъёмов обращают особое внимание. Заделанный в разъёме конец оптоволоконна герметизируют клеем, эпоксидной смолой или другим заполнителем. Не заделанное должным образом волокно может стать одной из наиболее вероятных причин отказа оптоволоконной системы.

Механические повреждения (14%) – обрывы кабеля из-за проведения несогласованных строительно-монтажных работ сторонними организациями, а также из-за вандализма или хищения кабеля.

Влияние погодных условий (14%) – низкие температуры (порядка – 31...–45°C), характерные для участков Байкало-Амурской магистрали, зачастую приводят к увеличению затухания. При охлаждении ниже –30°C полиэтиленовая оболочка кабеля теряет свою эластичность, что может вызвать деформацию и появление микротрещин, что в свою очередь, повышает вероятность возникновения механических повреждений.

Оптические разъёмы и муфты, используемые при организации ВОЛС, также подвержены воздействию низких температур. Замерзание клея или эпоксидной смолы, используемых для герметизации волокна в разъёмах, может привести к их растрескиванию, что ухудшает качество соединения и увеличивает потери сигнала.

Электротермическая деградация (11%) или трекинг – разрушение кабеля в местах крепления к опорам контактной сети 27,5 кВ из-за наведённого напряжения. Наведённое напряжение может достигать величин порядка 10 кВ [2], что приводит к возникновению искрового разряда, разрушающего оболочку кабеля с последующим её нагревом при протекании электрического тока [3–5].

В применяемых на ВСЖД подвесных зажимах типа ЗП-14 (рис. 2) повреждение кабеля чаще всего происходит в торцевой его части. При этом

возможно как частичное повреждение внешней оболочки кабеля, так и полное разрушение кабеля с последующим его обрывом в результате воздействия искрового разряда (рис. 3).

Для борьбы с трекингом было предложено, в частности, использование модифицированных зажимов типа ЗПМ-14, оснащённых дополнительными диэлектрическими вставками на торцах зажима.



Рисунок 2. Поддерживающий зажим типа ЗП-14 и его модифицированная версия ЗПМ-14, применяемые для подвески кабеля на опорах контактной сети



Рисунок 3. Повреждение оболочки кабеля в торцевой части зажима ЗП-14 (сверху), и полное разрушение защитных оболочек и элементов конструкции кабеля (снизу) в результате воздействия наведённого напряжения.

Кроме повреждения внешней оболочки оптического кабеля при воздействии наведённого напряжения, возможно также образование вздутий за счёт разогрева и испарения воды внутри кабеля [6].

При протяжке кабеля во время строительства или в процессе эксплуатации ВОЛС происходит механическое повреждение оболочки. Попавшая на место повреждения влага (дождь, туман, роса) вследствие капиллярного эффекта проникает по арамидным нитям под оболочкой, делая эти нити токопроводящими. Между увлажненными арамидными нитями кабеля и контактной сетью переменного тока возникает ёмкостная связь, и на нитях наводится высокое напряжение величиной до 11 кВ [2].

Протекание тока по арамидным нитям вызывает нагрев кабеля, при температуре свыше 100°C образуется пар, а при дальнейшем повышении температуры начинается деформация полиэтиленовой оболочки с образованием вздутий. Вследствие испарения влаги её содержание в

арамидных нитях снижается, протекающий по ним ток уменьшается, и процесс образования вздутий приостанавливается. В случае, если повреждений оптических волокон не произошло и кабель остается работоспособным, процесс образования вздутий может быть выявлен не сразу, а лишь при плановом осмотре.

Неисправность активного оборудования (4%) – выход из строя приёмо-передающих модулей (SFP трансиверов), а также плат или модулей мультиплексоров. За весь период мониторинга было зафиксировано несколько подобных случаев, что говорит о достаточно высокой надёжности современного телекоммуникационного оборудования.

Заключение

В результате анализа было выявлено, что наиболее значимыми факторами являются повышение затухания сигнала (51% случаев, включая износ и загрязнение патч-кордов и розеток), обрывы кабеля (14%), влияние погодных условий (14%) и электротермическая деградация (11%). Эти проблемы обусловлены как внешними факторами (механические повреждения, низкие температуры, вандализм), так и особенностями эксплуатации, включая недостатки в креплении кабеля и качестве соединений. Однако данные неисправности не приводят к отказам или к неработоспособности объектов железнодорожного транспорта, поскольку системы связи всегда имеют кольцевое резервирование.

Список литературы

1. Здоровцов И.А. ТрансТелеКом: История и современность. – Альпина Бизнес Бук. М: 2007. – 270 с.
2. Климов Н.Н., Куценко С.М., Липов Д.Б., Закарюкин В.П., Дмитриев А.А. Повреждения самонесущего оптоволоконного кабеля в условиях электрического влияния контактной сети переменного тока // Ресурсосберегающие технологии на железнодорожном транспорте: Материалы Всероссийской Научно-практической конференции с международным участием / Отв. ред. В.П. Сурков. Красноярск: Гротеск. 2005. – Т.2 – С. 134.
3. Картер К.Н., Уолдрон М.А. Математическая модель образования сухого дугового разряда на поверхности оптического самонесущего диэлектрического кабеля, установленного на воздушных линиях электропередачи // IEE Proc. C, May 1992, vol. 139, № 3, p. 185.
4. Филиппов Ю.И. и др. Электротермическая деградация оптического кабеля // Lightwave Russian Edition. 2006. – №4. – С. 31.
5. Филиппов Ю.И. и др. Электротермическая деградация оптического кабеля на участках железных дорог с электротягой переменного тока // Lightwave Russian Edition. 2006. – №3 – С. 20.
6. Чернов И.Н., Муратов В.И., Куценко С.М., Зеленев С.А. Оплавление диэлектрического оптического кабеля, подвешенного на железнодорожных опорах, под действием электротермической деградации // Lightwave Russian Edition. 2007. – №2. – С. 34.

Микроволновая радиометрия криосферных объектов с использованием БПЛА

Козлов А.К., Казанцев В.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита,
Россия

aleksej.kozlov.97@mail.ru, slava11545@gmail.com

В работе представлены результаты летных испытаний БПЛА с установленным на нем микроволновым радиометром на частоту 34 ГГц. Показаны возможность измерения радиотеплового излучения криосферных образований в труднодоступных местах. Приведены особенности теплового излучения мерзлых сред на длине волны 0,8 см, в частности в зависимости от угла наблюдения, слоистых сред, а также ледяных образований, имеющих различные концентрации солевых включений. Показано что при установке на борт БПЛА микроволнового радиометра необходимо осуществлять запись углов положения летательного средства в пространстве.

Введение

БПЛА с установленными комплексами аппаратуры позволяют проводить контактные измерения параметров тропосферы [1], измерять параметры состояния водной поверхности океана по полученным данным с БПЛА [2], применяться в сельском хозяйстве [3] и т.д. Кроме видимого и инфракрасного диапазонов используется микроволновый диапазон, который позволяет определять состояние поверхности с больших глубин, например влажности почвы [4]. Микроволновый радиометр, установленный на БПЛА, позволяет проводить мониторинг криосферных образований [5, 6]. Это связано с особенностями диэлектрических свойств сред (лед и вода), находящихся при отрицательной температуре или близкой к температуре фазового перехода лед-вода. Активное использование беспилотных летательных средств для решения большого круга практических задач требует усовершенствований методик их использования.

При измерениях теплового излучения в микроволновом диапазоне, например, на длине волны 0,8 см существует ряд трудностей при интерпретации получаемых данных с радиометрического приемника [5]. Данные трудности при измерениях криосферных объектов связаны со следующим: во-первых, значение мощности теплового излучения в микроволновом диапазоне сильно зависит от угла наблюдения и вида поляризации. Во-вторых, довольно часто криосферные объекты представляют из себя слоистые структуры и в случае их размеров, соизмеримых с длиной волны, наблюдаются интерференционные явления, которые приводят к большим вариациям значений радиояркостной температуры. В третьих, включения во льду приводят к резкому увеличению мнимой части комплексной относительной диэлектрической

проницаемости среды, что существенно влияет на значение радиояркостной температуры.

Исследования по использованию микроволновых радиометров на борту БПЛА является актуальной задачей, особенно при изучении криосферных объектов. Данная задача имеет большое практическое значение, особенно при мониторинге труднодоступных объектов, например, тонкий лед, ледники, древесная растительность на участках со сложным рельефом и т.п.

Методика эксперимента

Для измерения радиотеплового излучения на длине волны 0,8 см были выполнены радиометрические измерения с использованием микроволнового радиометра на длину волны 0,8 см, установленного на борт БПЛА. Флуктуационная чувствительность радиометрического приемника оставляет 0,05 К при постоянной времени 1 с. Для приема излучения использовалась гофрированная антенна с низким уровнем боковых лепестков. Измерения осуществлялись на вертикальной поляризации под углом наблюдения близкому к надиру. Фотография БПЛА с установленным на его борту микроволновым радиометром показана на рисунке 1.



Рисунок 1. Фотография радиометра на длину волны 0,8 см, установленного на БПЛА

Калибровку радиометра осуществляли по излучению эталонов двух черных тел, имеющих различные термодинамические температуры. Для проверки точности калибровки было также осуществлено измерение собственного излучения безоблачной атмосферы, имеющей низкую концентрацию водяных паров, отраженного от металлического листа, размещенного на горизонтальной поверхности. Точность калибровки порядка 1 К.

Исследуемая поверхность представляла из себя грунт, промерзший до глубины около двух метров с толщиной снежного покрова до 15 см. Температура окружающего воздуха $\sim -20^{\circ}\text{C}$.

Полученные результаты

В результате были получены следующие данные. На рисунке 2 представлена трассовая запись радиояркостной температуры участка грунта с высоты ~ 10 м с различным видом поверхности. При пролете над исследуемой поверхностью выделяется четыре участка: 1 – пересечение дороги с бетонным покрытием, 2 – пролет над металлическим листом, 3 – относительно ровный участок грунта, покрытый снежным покровом и 4 – неровный участок грунта относительно горизонта. Следует отметить, что термодинамическая температура грунта под снежным покровом имела практически одинаковую температуру по поверхности. Однако наблюдались вариации радиояркостной температуры, которые связываются с различными излучательными характеристиками поверхности, а также с изменением углов зондирования из-за неровности подстилающей поверхности.

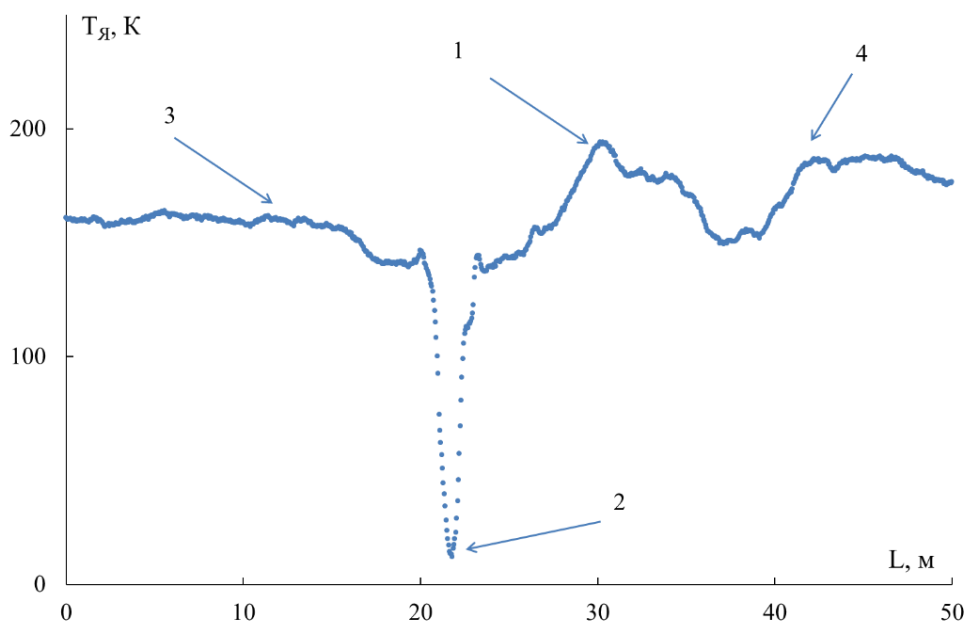


Рисунок 2. Трассовая запись радиояркостной температуры грунта на длине волны 0,8 см. 1 – автомобильная дорога с бетонным покрытием; 2 – лист металла; 3 – относительно ровный участок грунта; 4 – неровный участок грунта. Дата: 06.12.2024.

При пролете над растительностью, представляющий из себя кустарник при отрицательной температуре (6 декабря 2024 г.) наблюдается повышение значения радиояркостной температуры на ~ 20 К.

Ошибки интерпретации полученных данных

При исследовании излучательных характеристик криосферных объектов в микроволновом диапазоне следует учитывать возможные ошибки, возникающие при получении радиояростной температуры сред при температуре ниже 0 °С.

Первая ошибка возникает в результате сильной угловой зависимости мощности радиотеплового излучения при некоторых углах. Так на рисунке 3 приведены результаты расчетов радиояростной температуры пресного ледяного покрова (минерализация льда 5 мг/кг) толщиной 60 см, лежащего на водной поверхности, в зависимости от угла для двух видов линейной поляризации (вертикальной (ВП) и горизонтальной (ГП)).

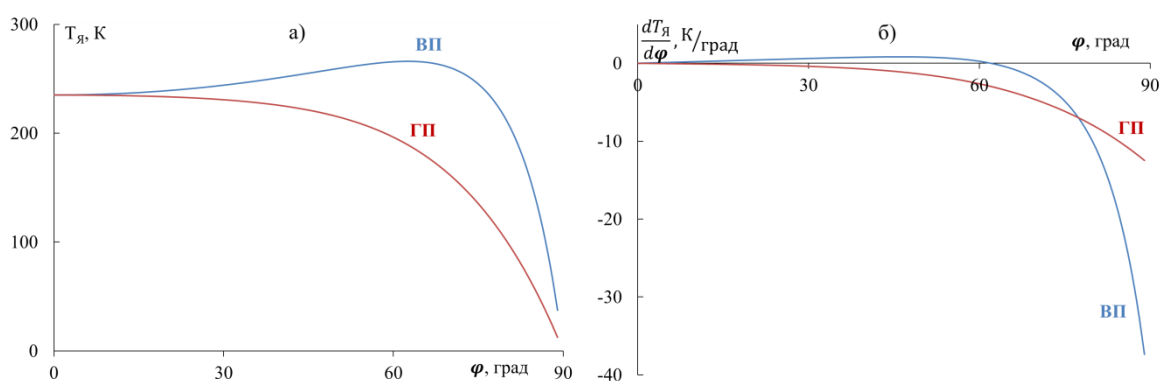


Рисунок 3. а) Зависимость радиояростной температуры и б) зависимость приращения производной радиояростной температуры для пресного ледяного покрова, толщиной 60 см от угла наблюдения для двух линейных поляризаций (ВП, ГП)

Как видно из приведенных графиков наблюдается выраженная зависимость радиояростной температуры ледяного покрова от угла. Наименьшее приращение T_b наблюдается для углов наблюдения, лежащих в интервале от 0° до 20°. По этой причине рекомендуется проводить измерения теплового излучения в микроволновом диапазоне с использованием БПЛА при угле, лежащем в данном интервале. При использовании радиометра с высокой флуктуационной чувствительностью включать в систему записи данных еще и углы оси его диаграммы антенны. Это связано с тем, что, как правило, БПЛА в пространстве изменяет углы тангажа и крена за счет ветрового воздействия и особенностей устройства БПЛА.

Другой ошибкой интерпретации получаемых данных при измерении слоистых криосферных объектов являются вариации радиояростных температур на двух поляризациях в зависимости от толщины промежуточного слоя. Так в работе [7] приведены особенности излучения трехслойной среды с тонким промежуточным слоем в виде ледяного покрова толщиной до нескольких сантиметров. На рисунке 4 приведена

зависимость радиояркостной температуры пресного ледяного покрова от его толщины при угле наблюдения 20° на длине волны $0,8$ см на вертикальной и горизонтальной поляризациях.

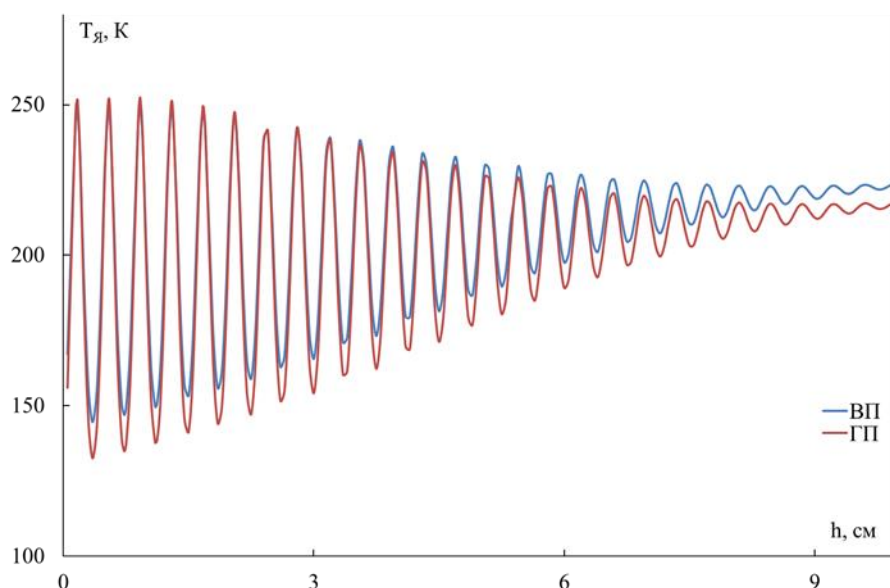


Рисунок 4. Зависимость радиояркостной температуры пресного ледяного покрова от его толщины. Длина волны $0,8$ см, угол наблюдения 20° . Полоса приема 2 ГГц.

Как видно из приведенных графиков наблюдаются сильные вариации радиояркостной температуры в зависимости от толщины и данные значения ее приращения могут достигать 100 К. При натурных измерениях растущего пресного ледяного покрова на данной длине волны также наблюдаются вариации мощности теплового излучения. Для уменьшения приведенных выше вариаций предлагается увеличивать ширину пропускания радиометрического приемника или высоту полета прибора.

Заключение

В результате выполненных работ были получены следующие результаты.

1. Измерения мощности собственного теплового излучения криосферных образований в микроволновом диапазоне с использованием радиометров установленных на беспилотные летательные аппараты, являются уникальным способом для диагностики их состояния, что является особо актуальным для труднодоступных мест (ледники, тонкие ледяные покровы и т.п.)

2. Для интерпретации полученных данных радиометров с борта БПЛА необходимо учитывать угол наблюдения, который изменяется во время полета БПЛА и, соответственно, вести его запись. Оптимальным углом для

зондирования теплового излучения криосферных образований являются углы лежащих в диапазоне от 0° до 20°.

3. Для измерения слоистых сред необходимо учитывать вариации радиоярких температур, как на вертикальной, так и на горизонтальной поляризациях, связанные с интерференционными явлениями в слоистых средах, что определяется малой высотой полетов приборов.

Благодарности

Работа выполнена при поддержке гранта РНФ № 24-27-00278 «Разработка методики радиометрического исследования криосферных образований с использованием беспилотных летательных средств в миллиметровом диапазоне».

Список литературы

1. Репина И.А. Использование беспилотных летательных аппаратов для исследования атмосферного пограничного слоя / И.А. Репина, М.И. Варенцов, Д.Г. Чечин, А.Ю. Артамонов, Н.Е. Бодунков, М.Ю. Калягин, Д.Н. Живоглотов, А.М. Шевченко, А.И. Варенцов, Н.Е. Куксова, В.М. Степаненко, А.А. Шестакова // Инноватика и экспертиза. 2020. – № 2(30). – С. 20–39.
2. Кубряков А.А. Влияние субмезомасштабных вихрей на перенос взвешенного вещества в прибрежной зоне Крыма по данным бпла, спутниковых и контактных измерений / А.А. Кубряков, П.Н. Лишаев, А.И. Чепыженко, А.А. Алескерова, Е.А. Кубрякова, А.В. Медведева, С.В. Станичный // Океанология. 2021. – Т. 61 № 2. – С. 182–197.
3. Романец И.И. Новые цифровые решения: использование дронов в сельском хозяйстве / И.И. Романец, Н.М. Мудриченко // Экономика и предпринимательство. 2024. – № 5 (166). – С. 582–586.
4. Сидоров И.А. Дистанционное определение влажностного портрета дамбы СВЧ-радиометром с борта беспилотного летательного аппарата / И.А. Сидоров, А.Г. Гудков, В.Д. Шашурин, С.В. Чижилов, Е.П. Новичихин, Н.Ф. Хохлов, И.О. Порохов, В.Э. Пчелинцев, Р.В. Агандеев // Нанотехнологии: разработка, применение - XXI век. 2022. – Т. 14 № 3. – С. 5–13.
5. Бордонский Г.С. Особенности методики микроволновых радиометрических измерений с борта БПЛА на волне 0,8 см / Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, В.А. Казанцев, А.К. Козлов // Техника радиосвязи. 2025. – № 1 (64). – С. 102–111.
6. Бибилов М.Ю. Дронная разведка оперативно-ледовой обстановки при движении по Северному морскому пути / М.Ю. Бибилов, В.А. Никитин, В.В. Смирнов // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2023. – № 5-1(80). – С. 43–49.
7. Гурулев А.А. Тепловое излучение трехслойной среды с тонким промежуточным слоем / А.А. Гурулев, А.О. Орлов, С.В. Цыренжапов // Исследование Земли из космоса. 2011. – № 4. – С. 5–11.

Внедрение GPON в городе Томмот

Коркин И.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
Korkin1438@mail.ru

Статья посвящена проектированию гигабитной пассивной оптической сети (GPON) в городе Томмот (Республика Саха, Якутия) с учетом климатических, географических и инфраструктурных особенностей региона. На основе анализа данных о климате и демографии произведён выбор оборудования, предложена архитектура сети.

Введение

Томмот — город в Алданском районе Республики Саха (Якутия) Российской Федерации. Расположен по обоим берегам реки Алдан, в 390 км от Якутска, в 65 км от районного центра города Алдана. Через город проходит Амуро-Якутская железнодорожная магистраль и магистраль Лена С населением 7,301 человек, площадью 44 км², температура зимой опускается до -50°C. Существующая инфраструктура связи включает устаревшие медные линии, и перегруженные базовые станции 4G. Внедрение GPON рассматривается как ключевой шаг для создания инфраструктуры для будущего развития [1].

Проектирование сети GPON

В области телекоммуникаций под пассивными оптическими сетями (PON) понимают сети, в которых передача оптического сигнала между центральным узлом и множеством абонентских узлов осуществляется с помощью пассивных статических компонентов. Это происходит без необходимости в усилении сигнала, его регенерации или ретрансляции, что отличает PON от активных сетевых решений. Пассивные оптические сети обеспечивают простоту конструкции и эксплуатации, что делает их популярными для широкополосного доступа. Топология PON может варьироваться, охватывая несколько типов, включая шинную (линейную), кольцевую и деревообразную (звездообразную). В зависимости от требований и назначения операторы могут выбирать наиболее эффективную топологию для развертывания. Основные элементы GPON-сети включают:

1. OLT (Optical Line Terminal): это основное устройство, расположенное в центральном офисе, которое управляет всей сетью GPON и отвечает за взаимодействие с внешними сетями. OLT принимает и отправляет данные, а также управляет распределением полосы пропускания между пользователями.

2. ODN (Optical Distribution Network): это пассивная оптическая распределительная сеть, которая соединяет OLT с конечными

пользователями. ODN состоит из оптических волокон, сплиттеров и других пассивных компонентов, которые передают сигнал без активного усиления.

3. ONT (Optical Network Terminal): это устройство, устанавливаемое у конечного пользователя, которое преобразует оптический сигнал в электрический. ONT отвечает за подключение конечных устройств (например, компьютеров, маршрутизаторов или телевизоров) к оптической сети.

Важным фактором является выбор разветвителей, в данном случае нам нужно подключить частный сектор города, а также микрорайоны. Оптические разветвители (или сплиттеры) предназначены для распределения оптической мощности в различных приложениях, включая контрольно-измерительное оборудование, локальные сети, кабельное телевидение и телекоммуникации. Они обеспечивают эффективное разделение сигналов, что позволяет подключать несколько конечных устройств к одной оптической линии. Основная задача оптических разветвителей заключается в разделении оптического сигнала на несколько направлений, что позволяет эффективно распределять оптическую мощность между различными пользователями или устройствами. Эти устройства могут быть спроектированы как для разделения на два направления (два выхода), так и для большего количества направлений (например, 1x4, 1x8, 1x16 и т. д.), в зависимости от потребностей сети. При выборе разветвителей важно учитывать оптические потери, которые могут возникать при разделении сигнала. Потери обычно зависят от качества используемых материалов и технологий производства. Обычные потери для простых разветвителей составляют около 3.5 дБ на разветвлении. Кроме того, они должны выдерживать широкий диапазон температур и условий эксплуатации, что делает их подходящими как для использования в помещениях, так и на открытом воздухе.

Преимущества GPON:

1. Высокая скорость передачи данных: GPON поддерживает скорости передачи данных до 2,5 Гбит/с в направлении "вниз" (от OLT к ONT) и до 1,25 Гбит/с в направлении "вверх" (от ONT к OLT). Эти скорости обеспечивают отличное качество связи и возможность подключения к высокоскоростным интернет-сервисам.

2. Широкая пропускная способность: с помощью GPON можно обеспечить одновременный доступ к интернету, IPTV и другим мультимедийным сервисам с минимальными потерями в качестве. Это делает GPON идеальным решением для современных пользователей, требующих надежного и высокоскоростного доступа к данным.

3. Экономическая эффективность: GPON позволяет операторам сокращать затраты на оборудование и эксплуатацию сети. Пассивные компоненты требуют минимального обслуживания и могут работать в разных климатических условиях, что снижает затраты на содержание сети.

Спроектированная сеть имеет древовидную топологию (рисунок 1.) Топология "дерево" — одна из ключевых архитектур, используемых в гигабитных пассивных оптических сетях (GPON). Она обеспечивает эффективное распределение сигнала от центрального узла к множеству абонентов, минимизируя использование активного оборудования [2].

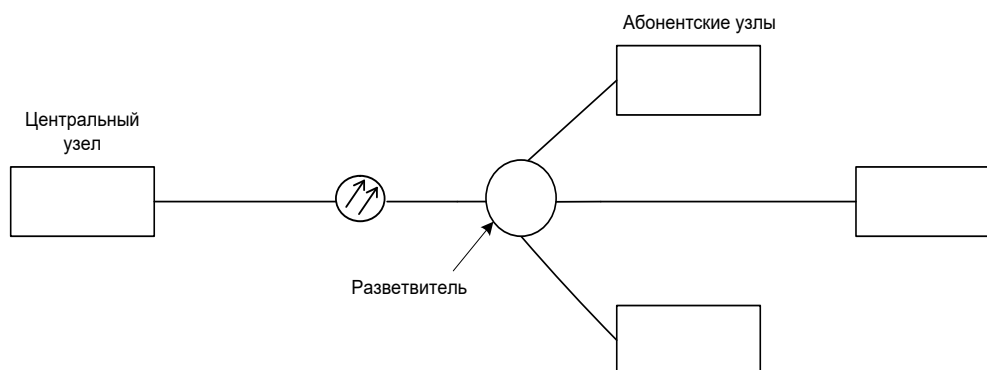


Рисунок 1. – Топология дерево

Основная идея архитектуры GPON (Gigabit Passive Optical Network) заключается в использовании единственного приемо-передающего модуля в OLT (Optical Line Terminal) для передачи информации множеству абонентских устройств ONT (Optical Network Terminal) и для приема данных от них. Данная реализация позволяет значительно упростить операцию обслуживания и уменьшить затраты, что делает GPON одним из наиболее эффективных решений в области волоконно-оптических технологий. Так как город находится в зоне вечной мерзлоты, нужно правильно выбрать оборудование, чтобы не возникало проблем в проектировании линии связи. Характеристики OLT представлены в таблице 1.

Таблица 1

Характеристики OLT ZTE ZX10 C320

Технология	GPON
Количество портов	32 порта GPON (2 платы по 8/16 портов)
Поддержка SFP xPON	Class B+, Class C+, Class
Резервирования	для PON портов typeB/typeC
Размер	2U на 2 слота
Uplink порты	Шасси для установки 1/10GE SFP (в зависимости от управляющей платы) Шасси для установки GE/FESFP Порт RG45 10/100/1000Ethernet
Максимальная ёмкость	32 порта GPON (2 платы по 8/16 портов) 16 порта XG-PON1 (2 платы по 8 портов) 96 Ethernet портов (2 платы по 24/48 портов)
Коэффициент разветвления	до 1:128
Вес	2,5 кг
Габариты	86,1мм × 482,6мм × 270мм

При проектировании оптических сетей используются специализированные кабели, такие как ОКСТЦ-10-01-0,22-24(2,7) и ОКСТЦ-10-01-0,22-16(2,7). Эти кабели разработаны для обеспечения надежной передачи оптических сигналов и оптимизации эксплуатационных характеристик в различных условиях.

Кабель ОКСТЦ-10-01-0,22-24(2,7) включает в себя 24 оптические волокна, что позволяет обеспечивать возможность передачи сигналов на высоких скоростях и с высокой дискретностью. Каждое оптическое волокно защищено специальной оболочкой, что предохраняет их от механических повреждений. Используемые в этом кабеле одномодовые волокна обеспечивают большую дальность передачи сигнала и меньшие оптические потери, что делает его идеальным для сценариев, требующих высококачественной передачи данных на длинные расстояния. Благодаря своим характеристикам, таким как количество волокон, тип волокна, диаметр и защитные свойства передаваемого сигнала, данные кабели обеспечивают эффективную и стабильную связь. Они идеально подходят как для локальных, так и для широких сетевых проектировок, что делает их востребованными в различных отраслях, включая телекоммуникации, корпоративные сети и системы видеонаблюдения. Характеристики кабеля представлены в таблице 2.

Таблица 2

Характеристика кабеля ОКСТЦ-10-01-0,22-24 (2,7)

Характеристика	Значение
Тип сердечника	профилированный
Тип оптических волокон	одномодовый
Число оптических волокон	24(16)
Материал силового элемента	стеклопластик
Материал влагозащитной оболочки	полиэтилен
Тип защитного покрытия	стальные проволоки
Строительная длина	1 км
Допустимое тяговое усилие	2,7 кН

В качестве распределительных соединителей используются фирменные муфты типа МКЗ-Р1. Эти муфты предназначены для монтажа линейных кабелей, а также для подключения ответвлений и самонесущих оптических кабелей (ОК) малого диаметра.

Особенности конструкции включают возможность подключения как завершённых участков оптических линий, так и для переконфигурации при наличии встроенной монтажной планки для адаптеров. Овальный герметичный вход обеспечивает удобное подключение без необходимости разрезания корпуса, что особенно важно при работе с транзитными

оптическими линиями. Характеристики выбранной муфты представлены в таблице 3. [3]

Таблица 3

Характеристики муфты МКЗ-Р1

Макс. кол-во разъёмных соединений	10
Тип адаптеров	SC
Макс. кол-во сплиттеров	2
Тип корпуса сплиттеров	Мини
Макс. кол-во сварных соединений	36
Способ герметизации корпуса и вводов ОК	Механический
Герметизирующий материал	Эластомер
Защищенность	IP67
Температура эксплуатации, °С	-60...+70
Габаритные размеры д/ш/в:	247/ 159/ 46
Масса, кг	0,5

Заключение

В результате растущего спроса на высокоскоростной доступ к интернету и качественные телекоммуникационные услуги, GPON становится все более популярным выбором для операторов связи и поставщиков услуг. Высокая скорость передачи данных, надежность и эффективность делают технологию GPON важной частью будущего телекоммуникационной инфраструктуры.

Внедрение GPON в Томмоте — это шаг к преодолению изоляции малых городов Севера. Технология демонстрирует устойчивость к экстремальным температурам и экономическую эффективность даже при низкой плотности населения. Реализация проекта позволит городу стать частью цифровой экономики России.

Список литературы

1. Официальный сайт население Республики Саха (Якутия) [Электронный ресурс]/ <https://bdex.ru/> - Режим доступа: <https://bdex.ru/respublika-saha-yakutiya/tommot/> (дата обращения 1.05.2025)
2. Максимов, Н.В. Архитектура ЭВМ и вычислительных систем [Текст]/ Н.В. Максимов, Т.Л. Партыка, И.И. Попов // - М.:Изд. НИЦ ИНФРА-М,2016г. -512с
3. ВОЛС Эксперт [Электронный ресурс] <https://vols.expert/> - Режим доступа: <https://vols.expert/useful-information/raschet-strel-provesa/?ysclid=lxfqdjggpu868540208> (дата обращения 28.04.2025)

Исследование портативного электромиографа для спортивной медицины

Кузнецов А.Е

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
artyomkuz@icloud.com

Целью работы стало исследование возможностей портативного электромиографа для объективной оценки состояния мышц спортсменов в условиях тренировочного процесса. Устройство, выполнено на основе микроконтроллера STM32F303, сочетающий точность измерений (обеспечивает 16-битное разрешение АЦП) с мобильностью и автономной работой, делая его удобным для тренировочных условий. Также в конструкции использовались медицинские электроды Ag/AgCl с высокой проводимостью, а также усилитель INA128, который обладает высоким коэффициентом усиления и низким уровнем шума.

Введение

На сегодняшний день в спортивной медицине всё больше внимания уделяется вопросам объективной оценки состояния мышц у спортсменов. Это особенно важно при высоких нагрузках, когда визуальный контроль и субъективные ощущения уже не дают полной картины. Один из методов, который может действительно помочь в этом — это электромиография (ЭМГ). Она позволяет увидеть, как работают мышцы, когда и насколько сильно они активируются.

Однако в реальной практике использование ЭМГ-систем вызывает определённые трудности. Большинство профессиональных устройств — это дорогие, сложные в настройке и часто стационарные аппараты, которые сложно применить прямо на тренировке. Особенно тяжело это сделать в полевых условиях или, например, во время сбора, когда важно быстро и просто получить данные.

В связи с этим возникла идея создать компактное и доступное решение, которое можно было бы использовать непосредственно в процессе тренировки — без сложной подготовки и дорогостоящего оборудования. В работе представлена разработка портативного ЭМГ-устройства на базе STM32F303, которое позволяет регистрировать активность мышц с достаточно высокой точностью.

Материалы и методы

Разрабатываемая система состоит из трёх основных модулей: блок регистрации сигнала, блок обработки и блок передачи данных. Аналоговый тракт построен на инструментальном усилителе INA128 с коэффициентом усиления около 1000, а также медицинских электродах

Ag/AgCl, обеспечивающих надёжный контакт с кожей даже при активных движениях.

Для оцифровки сигнала используется 16-битный АЦП ADS1115 с частотой дискретизации 860 Гц, что обеспечивает необходимую точность для анализа ЭМГ-сигнала. Центральным элементом системы является микроконтроллер STM32F303 (ядро Cortex-M4, 72 МГц), на котором реализованы алгоритмы цифровой фильтрации (в том числе БИХ-фильтр на 50 Гц) и выделения огибающей сигнала, отражающей уровень мышечной активности.

Обработка и передача данных осуществляется напрямую на компьютер, что позволяет в реальном времени отслеживать активность мышц и проводить дальнейший анализ без промежуточных устройств. Система питается от Li-Po аккумулятора 3.7 В, стабилизированного до 3.3 В с помощью LDO-регулятора, обеспечивая до 12 часов автономной работы.

Эффективность работы устройства была проверена на 15 спортсменах в возрасте от 20 до 25 лет. В ходе испытаний участники выполняли изометрические упражнения, динамические движения и тесты на утомление, что позволило оценить стабильность сигнала и пригодность системы для применения в условиях тренировочного процесса

Таблица 1

Технические характеристики устройства

Характеристика	Значение
Количество сигналов	2
Микроконтроллер	STM32F303(72 МГц)
АЦП	ADS1115, 16 бит
Частота дискретизации	860 Гц
Усилитель	INA 128
Частотный диапазон сигнала	20-500 Гц
Продолжительность работы	До 12 часов
Электроды	Ag/AgCl, одноразовые медицинские

Результаты

Проведённые экспериментальные исследования подтвердили высокую эффективность разработанного устройства. При сравнении с профессиональным оборудованием была выявлена отличная корреляция результатов — коэффициент совпадения составил $r = 0.96$ при измерении амплитуды мышечной активности, что свидетельствует о высокой точности и надёжности прибора. Устройство стабильно работало даже в условиях активной двигательной активности, при этом электроды сохраняли прочный контакт с кожей, что особенно важно для использования в спортивной среде.

Технические характеристики — разрешающая способность в 1 мкВ и частотный диапазон от 20 до 500 Гц — полностью соответствуют современным требованиям спортивной электромиографии. Практическое применение системы позволило выявить несколько важных аспектов: во-первых, она эффективно отслеживает динамику мышечного утомления за счёт анализа изменений спектрального состава сигнала во время тренировки; во-вторых, позволяет выявлять асимметрию в активации мышц-антагонистов, которая у значительной части испытуемых достигала 15%, что имеет большое значение для предупреждения травм; и, наконец, устройство помогает определить оптимальные режимы мышечной активации для различных типов нагрузок, способствуя индивидуализации тренировочного процесса.

Особое внимание заслуживает разработанный алгоритм автоматического определения момента наступления мышечного утомления на основе изменения медианной частоты ЭМГ-сигнала. Такой подход позволяет своевременно фиксировать начало усталости мышц без участия оператора, что делает систему особенно ценной для использования в режиме реального времени.

Заключение

Проведённое исследование подтвердило высокую эффективность разработанного портативного электромиографа в решении актуальных задач спортивной медицины. Среди основных преимуществ системы стоит отметить профессиональное качество сигнала, обеспечиваемое инструментальным усилителем INA128 и медицинскими электродами Ag/AgCl, а также автономность работы и простоту использования в полевых условиях.

Практическая значимость устройства заключается в его способности помогать индивидуализировать тренировочные нагрузки на основе объективных данных, своевременно выявлять признаки перетренированности и контролировать процесс восстановления после травм. В дальнейшем планируется расширить функциональность системы за счёт интеграции инерциальных датчиков, что позволит проводить комплексный анализ биомеханики спортсмена. Кроме того, разработка мобильного приложения с базой нормативных показателей для различных видов спорта и создание алгоритмов, использующих методы машинного обучения для прогнозирования оптимальных тренировочных нагрузок, открывают перспективы для ещё более точного и удобного мониторинга.

В долгосрочной перспективе подобные разработки могут стать важным инструментом не только для профессиональных спортсменов, но и для любителей спорта, способствуя общему улучшению здоровья и снижению риска травм

Таблица 2

*Показатели мышечной асимметрии и признаков утомления у 15
испытуемых*

№ испытуемого	Асимметрия активации (%)	Признаки утомления (да/нет)
1	12	Да
2	7	Нет
3	15	Да
4	3	Нет
5	10	Да
6	5	Нет
7	14	Да
8	9	Нет
9	17	Да
10	6	Нет
11	13	Да
12	4	Нет
13	8	Нет
14	11	Да
15	16	Да

Из анализа результатов видно, что у большинства спортсменов с большой разницей в активации мышц (больше 10%) чаще проявлялись признаки усталости. А у тех, у кого эта разница была меньше, усталость встречалась реже или совсем отсутствовала. Это говорит о том, что асимметрия в работе мышц может быть полезным показателем, чтобы понять, когда мышцы начинают уставать и нагрузка становится неравномерной. Такие данные показывают, насколько важно следить за активностью мышц, чтобы вовремя скорректировать тренировку и избежать перетренированности.

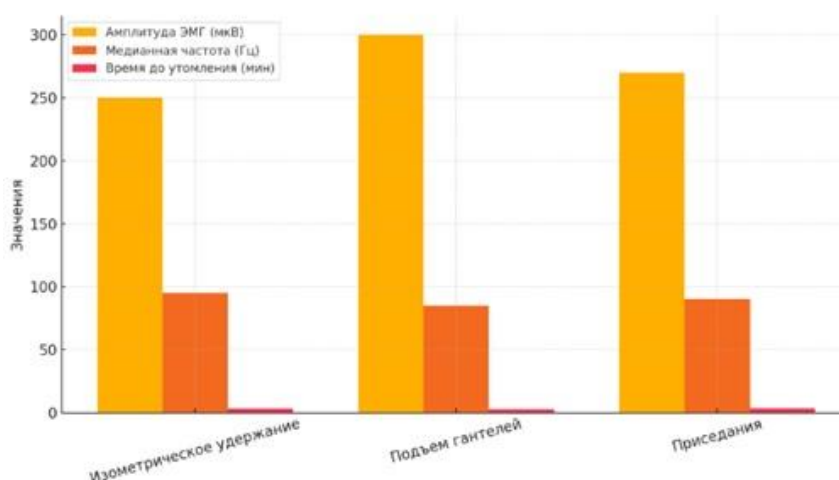


Рисунок 1. График данных из таблицы показателей мышечной асимметрии и признаков утомления

График наглядно демонстрирует взаимосвязь между степенью асимметрии активации мышц и наличием признаков утомления у испытуемых. У спортсменов с более выраженной асимметрией чаще наблюдается мышечное утомление, что подтверждает значимость этого показателя для оценки состояния мышечной системы. Такой визуальный анализ позволяет эффективно выявлять риски перетренированности и адаптировать тренировочные нагрузки с учётом индивидуальных особенностей.

Для более глубокого понимания был построен дополнительный график, сравнивающий уровень активации правой и левой мышцы каждого из 15 испытуемых. Это позволяет детально оценить симметрию мышечной активности и выявить индивидуальные особенности функционирования мышц-антагонистов.

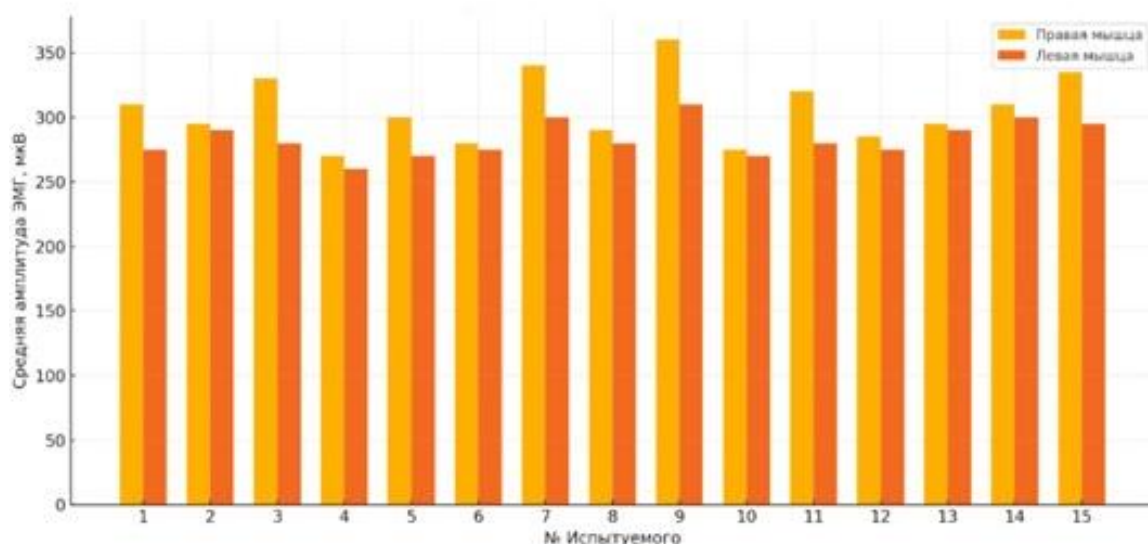


Рисунок 2. Сравнения активации правой и левой мышцы для 15 испытуемых

На графике видно, что у некоторых испытуемых присутствует заметная разница в активации правой и левой мышцы, что подтверждает наличие асимметрии. Такой дисбаланс в мышечном тонусе и работе может со временем привести к снижению эффективности тренировок или даже к травмам. Эти данные подчеркивают важность регулярного контроля симметрии мышечной активности для оптимизации тренировочного процесса и предотвращения повреждений.

Для оценки изменений в мышечной активности при переходе от состояния покоя к напряжению был построен график ЭМГ-сигналов, который показывает разницу в амплитуде и характеристиках сигнала. Это наглядно демонстрирует, как мышцы реагируют на нагрузку и позволяет оценить эффективность их работы в динамике.

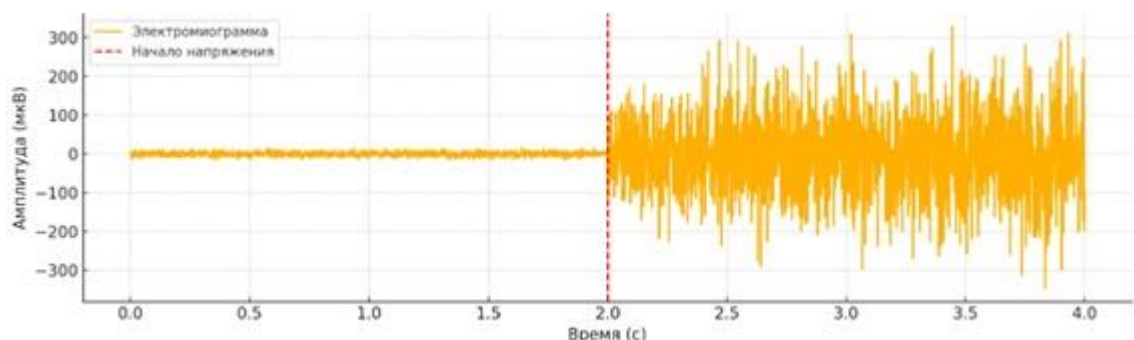


Рисунок 3. ЭМГ – Мышцы. Состояние покоя и напряжения

График отчетливо демонстрирует значительный рост амплитуды ЭМГ-сигнала при напряжении мышц по сравнению с состоянием покоя, что соответствует ожидаемым результатам и подтверждает корректную работу устройства. Такие данные позволяют в реальном времени оценивать уровень мышечной активации и могут быть полезны для контроля тренировочного процесса и предупреждения переутомления.

Благодарность

Автор выражает благодарность научному руководителю, доценту кафедры радиоэлектроники ИрНITU Леоновой Н.В. за ценные рекомендации и поддержку на всех этапах исследования. Также благодарю испытуемых спортсменов за участие в экспериментальных испытаниях.

Список литературы

1. De Luca C.J. The Use of Surface Electromyography in Biomechanics / C.J. De Luca // Journal of Applied Biomechanics. – 1997. – Т.13. №2. – С. 135–163.
2. Merletti R. Electromyography: Physiology, Engineering, and Non-Invasive Applications / R. Merletti, P. Parker. – Hoboken: John Wiley & Sons, 2004. – 532 с.
3. Rainoldi A. A method for positioning electrodes during surface EMG recordings in lower limb muscles / A. Rainoldi, G. Melchiorri, I. Caruso // Journal of Neuroscience Methods. – 2004. – Т.134. №1. – С. 37–43.
4. Энциклопедия биомедицинской инженерии / Под ред. Ю.Е. Кувшинского. – М.: Наука, 2015. – 752 с.
5. Трубачев А.Н. Современные технологии в спортивной медицине / А.Н. Трубачев, С.М. Лапшин // Спортивная медицина. – 2020. – №1. – С. 25–32.
6. Козлов А.В. Использование ЭМГ в оценке эффективности тренировочного процесса / А.В. Козлов, В.А. Романов // Теория и практика физической культуры. – 2019. – №9. – С. 42–45.
7. Васильев В.Н. Электромиография в спортивной медицине / В.Н. Васильев // Вестник спортивной медицины. – 2018. – №3. – С. 15–22.
8. Иванов С.П., Петров А.А. Применение поверхностной электромиографии для оценки мышечной функции / С.П. Иванов, А.А. Петров // Физиология человека. – 2020. – Т.46, №2. – С. 48–55.
9. Николаев Д.В. Методы цифровой обработки сигналов в электромиографии / Д.В. Николаев // Электронные приборы. – 2017. – №4. – С. 30–36.

Модернизация линии связи на участке от обзорного радиолокатора до дальней приводной радиостанции в аэропорту города Усть-Кута

Куприйчук В.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

osnovavlad5@gmail.com

Оптоволокно уже много лет является наилучшим решением при построении любых линий связи. В статье приводится проект по модернизации старого участка кабельной линии в аэропорту г.Усть-Кута до оптоволоконных стандартов. Представлено подробное описание линии связи, описание используемого в проекте конфигуратора vols.expert, оборудование и расчеты. Посчитана смета проекта.

Введение

Уже более 20 лет в России активно проводятся замены устаревших систем, протяженность магистральных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) по состоянию на октябрь 2024 года достигла примерно 1,5 млн км., и все же, еще осталось достаточно большое количество линий, которые пока что не модернизировали. Об одной из таких линий, находящейся в аэропорту города Усть-Кута на участке от обзорного радиолокатора до дальней приводной радиостанции, пойдет речь в данной проектной работе.

Модернизация коммуникационной инфраструктуры до оптоволоконных стандартов позволит устранить ограничения существующей системы, повысить качество работы и обеспечить соответствие современным стандартам, что особенно важно на таком объекте как аэропорт, имеющем высокие требования к скорости передачи данных и помехозащищенности кабеля.

Таким образом, основная цель работы - создать проект модернизации линии связи в аэропорту города Усть-Кута на участке от обзорного радиолокатора до дальней приводной радиостанции, который включает подбор оптимального по соотношению цена/качество кабеля, оборудования (мультиплексоры, медиаконверторы, муфты и т.д). Провести основные расчеты: затухания, участка регенерации, а также посчитать смету проекта.

Объект модернизации

Существующая линия связи значительно устарела, она была проложена в 1962 году и с тех пор подлежала лишь малая ее часть. Протяженность линии составляет около 4,62 км. (рис 1.). В ней используется медный кабель. Основных объектов на линии три – обзорный радиолокатор и две радиостанции – ближнего и дальнего приводов, играющие роль радиомаяка в аэронавигации воздушных судов.

В 2013 году часть линии была модернизирована, поэтому в передней части линии, а это участок от радиолокатора до ближнеприводной

радиостанции, используется кабель другой марки, однако для нас это не имеет особого значения, потому что линию мы заменим целиком на оптоволокно.



Рисунок 1. Участок линии связи от обзорного радиолокатора до дальней приводной радиостанции [2]

В таблице 1 представлены сравнительные характеристики оптоволоконных и медных кабелей [3]. Устойчивость к электромагнитным и радиочастотным помехам является основной причиной вытеснения оптикой всех предыдущих видов кабелей, но я все же подчеркну, что в случае нашей линии связи, находящейся в аэропорту, это имеет критически важное значение - даже больше, чем пропускная способность.

Таблица 1
Сравнительные характеристики медных и оптических кабелей

Характеристика	Медные кабели	Оптоволоконные кабели
Поддерживаемая пропускная способность	10 Мбит/с – 1 Гбит/с	10 Мбит/с – 100 Гбит/с
Расстояние	Относительно короткое (1–10 метров)	Относительно длинное (1–1000 метров)
Устойчивость к электромагнитным и радиочастотным помехам	Низкая	Высокая (полностью устойчива)
Устойчивость к электрическому току	Низкая	Высокая (полностью устойчив)
Стоимость кабелей и соединителей	Минимальная	Максимальная
Навыки, необходимые для установки	Минимальные	Максимальные
Меры предосторожности	Минимальные	Максимальные

Выбор оптического кабеля

Для того чтобы выбрать оптический кабель, нужно учесть ряд важных факторов [4]. Основная часть из них:

- Приёмное устройство.
- Климатические устройства.

- Параметры участка, где предполагается установка кабеля.
- Условия и место прокладки.
- Детектируемые нагрузки.

Важный момент – способ прокладки, используемый в данной работе – это прокладка в грунт.

В современной практике построения сетей связи активно используются программные конфигураторы для автоматического расчёта всех необходимых параметров и подбора кабеля исходя как из них, так и из доступности на рынке в данный момент с учетом соотношения цена/качество.

Для выбора марки кабеля было решено использовать конфигуратор vols.expert (конкретно – модель для прокладки в грунт). [2]

С использованием конфигуратора была составлена схема проектируемой линии связи (рис. 2), с указанием грунтовой трассы, типа муфты (существующая и проектируемая), начальной, конечной и промежуточной узловых точек. По данной схеме программа автоматически выбрала подходящий кабель (рис. 3), а затем рассчитала смету, в сокращенном виде приведенную в виде таблицы 2.

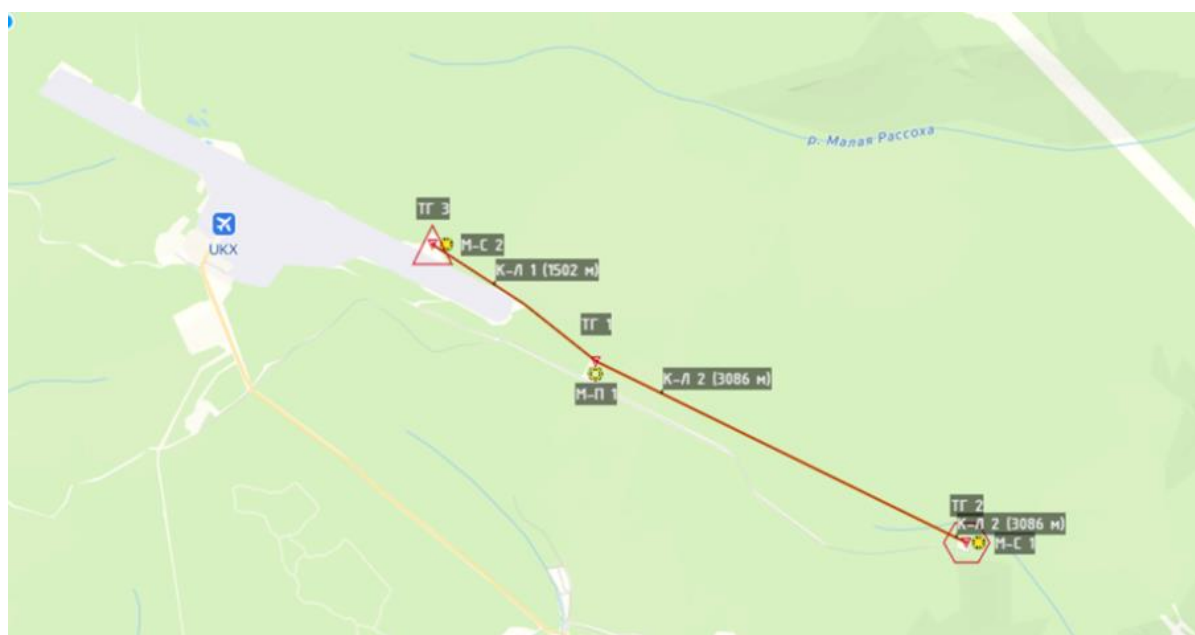
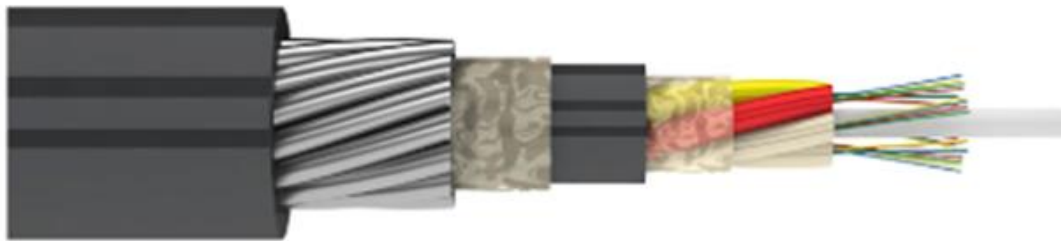


Рисунок 2. Схема выполненная на карте vols.expert [2]



► ДПС-П-32У(4х8)-7кН (0,4кН/см)

Рисунок 3. Марка кабеля, выбранного в конфигураторе vols.expert

Расчет затухания

Расчёт затухания в оптоволоконной линии связи критически важен для обеспечения стабильной передачи сигнала [1]. Выполнив такой расчёт для выбранного ранее кабеля (рис. 3, ДПС-П-32У(4х8)-7кН (0,4кН/см)), мы получили значение 0,54 дБ/км .

Важный момент. В аэропортах требуется двойной запас по мощности сигнала:

- Для систем радиолокации и посадки (БПРМ/ДПРМ) допустимое затухание должно быть на 30–50% ниже предельного значения оборудования.
- Рассчитанное затухание соответствует этому условию.

Также были выполнены расчеты участка регенерации и количества волокон в кабеле. Линия короткая, необходимости ставить регенераторы у нас нет. Количество волокон – 32 – было выбрано с учетом рекомендаций для важных объектов, в число которых входят и аэропорты, и с учетом наличия нужных кабелей на рынке согласно конфигуратору vols.expert.

Оборудование

Большая часть оконечного оборудования не требует расчёта, так как подразумевается обратная совместимость модернизируемой линии с оборудованием, используемом на оригинальном объекте.

На самом деле, соблюдено данное условие было практически автоматически, ввиду того что на линии используются гибкие мультиплексоры, которые одинаково работают как с оптикой, так и с медью. Используемая для дублирования и резервирования каналов радиорелейная станция также не ограничена типом кабеля.

Используемое оборудование : Гибкие мультиплексоры «Транспорт 30х4», оптические мультиплексоры «Косатка», радиорелейная станция «Микран».

Смета

Таблица 2

Расчет затрат

название	цена, руб.
Кабельно-проводниковая продукция	558 201,32
Кроссовое оборудование	57 031,70

В сокращенной таблице представлены затраты по категориям закупки. Основная часть, около 91%, ушла на сам кабель.

Общая стоимость закупок составляет 615 233,02 рублей.

Производитель кабельной продукции – российская фирма ООО «Инкаб». Все кроссовое оборудование(муфта, герметик, контейнеры и т.д), а также оборудование, рассмотренное в предыдущем разделе, тоже являются полностью отечественными разработками, что является важным условием при создании проектов для важных объектов в современных реалиях.

Вывод

В рамках данной работы был составлен проект по модернизации линии связи на участке от обзорного радиолокатора до дальней приводной радиостанции в аэропорту города Усть-Кута. Были произведены расчёты затухания, участка регенерации, сделан выбор оптимального по соотношению цена/качество кабеля и подобрано подходящее оборудование, посчитана смета, составляющая около 615 тыс. рублей, что было признано приемлемым для имеющегося бюджета.

Список литературы

1. Д.Гиберт Современные технологии в помощь проектировщику ВОЛС // Первая Миля - научно технический журнал URL: <https://www.lastmile.su/journal/article/6076> (дата обращения: 02.02.2025).

2. Конфигуратор для прокладки в грунт // vols.expert URL: <https://vols.expert/inground/?ysclid=m9rzwuwbir392294854> (дата обращения: 01.05.2025).

3. Fiber Data Communication // Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова URL: <https://asvk.cs.msu.ru/wp-content/uploads/2023/04/Lekciya-3-Fiber-communication-OTN.pdf> (дата обращения: 03.04.2025).

4. Прокладка оптического кабеля в грунт: классификация грунтов и требования к ВОК // vols.expert URL: <https://vols.expert/useful-information/prokladka-kabelya-v-grunt> (дата обращения: 02.02.2025).

Проектирование видеонаблюдения в зоне отдыха озера Иссык-Куль

Кучменов А.Х.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
kyrgyzpatriot4@gmail.com

Уже как правило много лет эффективно используются камеры видеонаблюдения. В статье приводятся результаты использования видеонаблюдения в зоне отдыха на озере Иссык-Куль. Представлено описание используемых компонентов для видеонаблюдения, характеристики используемых компонентов, параметры. Показано, что выбранное расположение камер позволяет обезопасить жизнь отдыхающим

Введение

В последнее время происходит много печальных событий из-за несоблюдения безопасности. Люди всё больше стали задумываться о предотвращении подобных случаев.

Наиболее простая система видеонаблюдения – это камера, подключенная к телевизору или монитору, такая система позволяет наблюдать за действием человека. Доступность установки и настройки является серьезной проблемой для массового рынка.

Видеонаблюдения в зоне отдыха.

Особенностью береговой линии является, необходимо обеспечить обзор по стороне в сторону озера, для предотвращения несчастных случаев передвигающихся транспортных средств и людей на воде. Все цифровые камеры снабжены ночным режимом видеонаблюдения, так же используется функция 4 кратного зума в случае необходимости детального наблюдения за объектами [1,2,3,4].

После того как произвели расчет видеокамер необходимо перейти к выбору модели видеокамер. По мнению людей, в социальных сетях более надежным поставщиком на данном рынке является компания «TRASSIR» имеющая в своем арсенале большой выбор охранного оборудования и сетевые филиалы по странам СНГ.

Именно продукция этой фирмы славиться большой надёжностью в серьёзных предприятиях. По этой причине я и воспользуюсь данной фирмой. Выбор панорамной камеры видеонаблюдения обусловлен тем, что на пляжной местности лучше всего использовать камеры с углом обзора в 180 градусов. Тип камеры: панорамная, уличная, цветная типа IP.

Поддерживается технология WDR данная технология предназначена для плохого или неправильного освещения. Данная видеокамера универсальная подходит как использования в помещении, так и использования на улице.

Может производить запись в 25 кадров в секунду сам объект показан на рисунке 1.



Рисунок 1. Панорамная камера видеонаблюдения TRASSIR TR-D9151IR2 v2.1.4

Характеристики камеры видеонаблюдения TRASSIR TR-D9151IR2 v2.1.4. Тип камеры: панорамная, уличная, цветная типа IP. Поддерживается технология WDR данная технология предназначена для плохого или неправильного освещения. Данная видеочамера универсальная подходит как использования в помещении, так и использования на улице. Имеется датчик на движения объекта. Может производить запись в 25 кадров в секунду, (сам объект во время движения не размывается).

Зона береговой линии ограничивается длиной в 400 метров и необходимая ширина контроля в 15 метров. Камеры видеонаблюдения установлены 4 метров от уровня земли. Вдоль береговой линии было установлено 5 камер показано на рисунке 2. Количество было выбрано с учётом соотношения цена/качества [5].

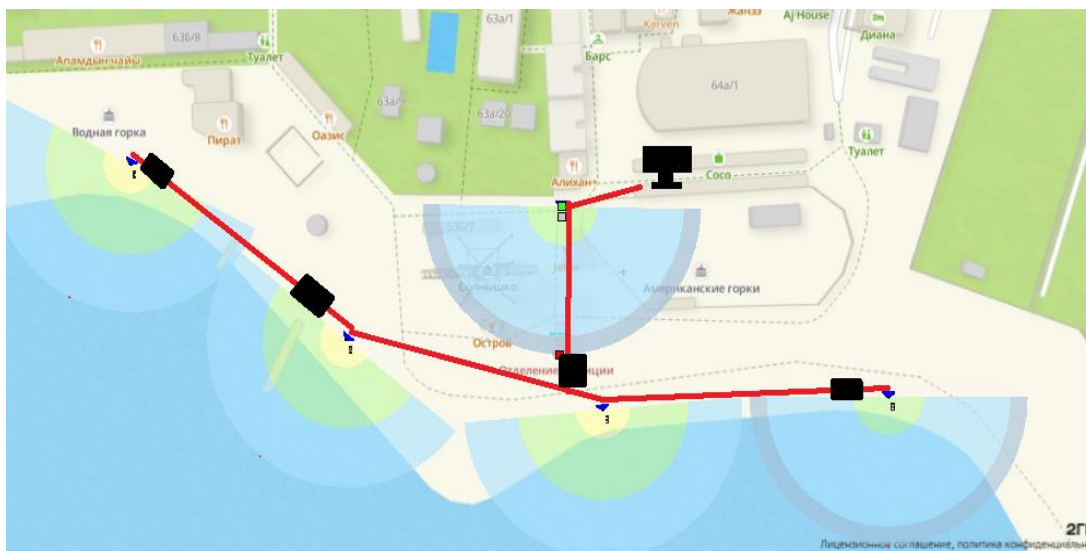


Рисунок 2. Расстановка камер по береговой линии

Передача сигнала на расстояния менее 100 м не приводит к значительному ослаблению.

Каждая видеокамера имеет свой индивидуальный соединительный кабель. Прокладка линии осуществляется по закрытым кабельным каналам. Используем кабель Parla Patch s / FTP Cat7. Внешний вид кабеля показан на рисунке 3.

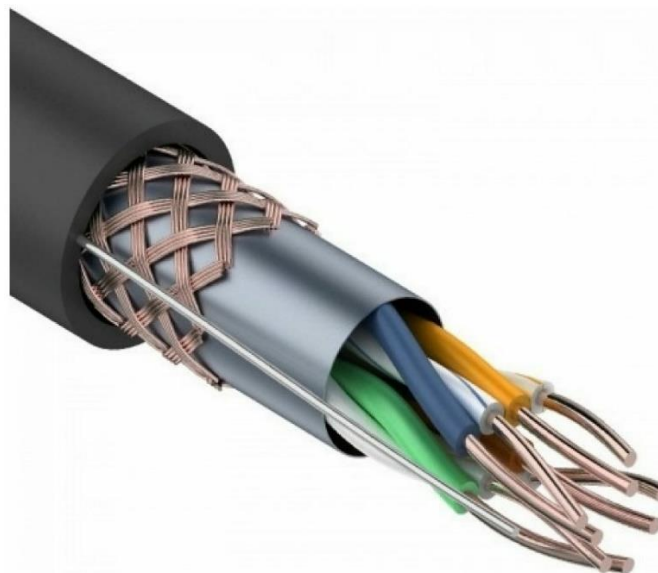


Рисунок 3. Внешний вид кабеля

Для подключения камер видеонаблюдения с линиями длиной более 100 метров необходимо принять техническое решение, а именно решение проблемы с появлением затухания. Рассмотрим одно из нескольких решений, наиболее подходящее решение для текущей ситуации использование POE соединителей (экстендеров).

Таблица 1

Расчёт POE соединителей

№ Кабельная линии	Длина, м	Затухание в кабеле	Нужное количество экстендеров
1	117	13,8	1
2	205	24,19	2
3	167	19,70	1

Необходимое оборудование, соответствующее предъявляемым требованиям, Данный экстендер был выбран из каталога компании «OSNOVO». Выбор осуществляется с учетом баланса цена/качество показан на рисунке 4 [6].



Рисунок 4. POE соединитель

Заключение

В результате размещения камер видеонаблюдения было необходимо использование POE соединителей дабы предотвратить затухание в кабеле.

Список литературы

1. Системы видеонаблюдения – URL: https://bolid.ru/production/cctv/network_camera/cylindrical/ (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа свободный
2. Система видеонаблюдения платного пляжа – URL: <https://expert-projects.ru/sistema-videonablyudeniya-platnogo-plyazha> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа свободный
3. Умный пляж, как обеспечить безопасность на водоёме – URL: <https://habr.com/ru/articles/522368/> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа свободный
4. Путеводитель по видеонаблюдению – URL: <https://videozashita.ru/kniga.pdf?ysclid=mb7pxb2763845811910> (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа свободный
5. Руководство по камерам – URL: https://www.dssl.ru/upload/iblock/a05/TR_D9151IR2v2_passport.pdf?ysclid=mb7pefc45f984886140 (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа свободный
6. Руководство POE соединителей – URL: https://plcontroller.ru/wp-content/uploads/2023/01/E-PoE_1-E-PoE_1G.pdf?ysclid=mb7ph155t629945997 (дата обращения: 05.05.2025). – Режим доступа свободный

Проектирование сети широкополосного доступа для посёлка городского типа Пеледуй Республики Саха (Якутия)

Липунова К.В., Дмитриев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

sabirova169@gmail.com, dmtaa77fti@gmail.com

Проект посвящён проектированию широкополосной сети доступа в пгт. Пеледуй (Якутия) с экстремальным климатом для ликвидации цифрового неравенства (соответствие ФЗ №126-ФЗ). Основу составляет гибридная архитектура GPON/XGS-PON, обеспечивающая высокие скорости (до 10 Гбит/с), использование пассивных сплиттеров и обратную совместимость. Для сложной застройки применена двухуровневая топология: магистраль от узла Р4 с делителем 1:8 на участки, где локальные делители 1:8 подключают 9-16 домохозяйств. Инфраструктура адаптирована к климату: прокладка кабелей на столбах с резервом, магистрали 48 волокон, абонентские линии 1-4 волокна, герметичные боксы. Результат: покрытие 95% территории, снижение затрат на 30%, масштабируемость до 1500 абонентов.

Введение

В условиях реализации государственной программы «Цифровая экономика Российской Федерации» и ликвидации цифрового неравенства особое внимание уделяется обеспечению высокоскоростным интернетом удалённых и труднодоступных регионов. Посёлок городского типа Пеледуй в Ленском районе Республики Саха (Якутия), с населением 4,5 тыс. человек, является примером локации, где развитие телекоммуникационной инфраструктуры требует учета климатических, географических и инфраструктурных особенностей.

Основной задачей проекта является модернизация сети широкополосного доступа на базе волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) с внедрением технологий GPON/XGS-PON. Это позволит обеспечить устойчивое покрытие, соответствующее требованиям Федерального закона № 126-ФЗ «О связи» и постановления Правительства РФ № 1279, согласно которым населённые пункты с численностью от 250 жителей должны иметь доступ к качественным телекоммуникационным услугам.

Ключевые вызовы при реализации проекта включают:

- суровый климат Якутии, влияющий на надёжность оборудования;
- Смешанная застройка посёлка, требующая гибкой архитектуры сети;
- Необходимость интеграции с существующей инфраструктурой (мобильная связь, энергоснабжение);

Проект финансируется за счет федерального бюджета (50%), бюджета Республики Саха (30%) и частных инвестиций (20%), что подчеркивает его социально-экономическую значимость.

GPON и XGS-PON: эволюция пассивных оптических сетей

GPON (Gigabit Passive Optical Network) – это высокоэффективная технология пассивных оптических сетей, разработанная для массового подключения абонентов к высокоскоростному интернету, телевидению и телефонии. Её ключевая особенность-использование пассивных компонентов (сплиттеров), которые не требуют электропитания, что значительно снижает затраты на развертывание и обслуживание инфраструктуры. В основе GPON лежит древовидная топология, где один магистральный оптический кабель от центрального узла (OLT) разделяется через сплиттеры на множество ветвей, обслуживающих до 64-128 абонентов на одном волокне. Технология обеспечивает асимметричную скорость: до 2.5 Гбит/с на приём (downlink) и 1.25 Гбит/с на передачу (uplink), используя комбинацию временного (TDM) и волнового (WDM) мультиплексирования для разделения потоков данных. GPON идеально подходит для реализации концепции FTTH (Fiber to the Home), обеспечивая «оптику до квартиры» с минимальными задержками и высокой надежностью.

С развитием стандартов появилась технология XGS-PON - эволюция GPON, которая устраняет ключевое ограничение асимметричной скорости. XGS-PON предлагает симметричную пропускную способность до 10 Гбит/с как на прием, так и на передачу, что критически важно для современных сервисов: облачных вычислений, видеоконференций, IoT-устройств и потокового 4K/8K-видео. При этом XGS-PON сохраняет обратную совместимость с GPON, позволяя использовать существующую инфраструктуру (те же волокна и сплиттеры), что упрощает миграцию. Технология поддерживает до 256 абонентов на одно волокно благодаря улучшенным алгоритмам управления трафиком и оптимизированной работе с длинами волн (используется диапазон 1577 нм для downlink и 1270 нм для uplink). XGS-PON также обеспечивает повышенную безопасность за счет усиленного шифрования и лучше адаптирована к нагрузкам в условиях массового подключения умных устройств. Это делает её идеальным решением для «умных городов», промышленных предприятий и операторов, стремящихся к будущему устойчивым сетям следующего поколения.

Выбор и прокладка волоконно-оптических кабелей (ВОК)

Основой физической инфраструктуры сети служат волоконно-оптические кабели (ВОК), обеспечивающие высокоскоростную и надежную передачу данных. Выбор конкретных моделей кабелей и их конфигурация критически важны для работы в экстремальных климатических условиях. Пеледуя и соответствуют принципам экономической эффективности и масштабируемости проекта.

Магистральные линии (от Р4 к участкам): для соединения центрального узла Р4 с локальными распределительными муфтами на 8 участках поселка используются высоковолоконные кабели (например, ВОК-48). Использование кабеля с 48 оптическими волокнами обеспечивает

значительный резерв для будущего расширения сети, подключения дополнительных услуг или увеличения числа абонентов без необходимости замены магистралей. Эти кабели обладают усиленной конструкцией:

Броня: Защита от механических повреждений (грызуны, обледенение, ветровые нагрузки).

Герметичность: Высокий класс защиты оболочки (типа ГЗ или аналогичный) от влаги, пыли и агрессивных сред.

Термостабильность: Рассчитаны на эксплуатацию в широком диапазоне температур (от -60°C до $+70^{\circ}\text{C}$).

Прокладка: Устанавливаются на опорах линий электропередач (ЛЭП) с соблюдением норм безопасного расстояния.

Распределительные линии (внутри участков): Для подключения локальных распределительных муфт к абонентским муфтам используются кабели средней емкости (например, ВОК-16, ВОК-24). Это обеспечивает достаточное количество волокон для подключения групп абонентов (через вторичные делители) и резервирование на участке.

Абонентские линии (Drop-кабель): Непосредственное подключение от абонентской муфты к терминалу в доме/квартире пользователя выполняется малоемкими кабелями (ВОК-1, ВОК-2, ВОК-4). Эти кабели имеют облегченную, но прочную конструкцию, часто с диэлектрическим силовым элементом (например, кевлар) для подвеса и устойчивости к растяжению. Выбор 1-4 волокон позволяет снизить стоимость кабеля и упростить монтаж, сохраняя при этом возможность резервирования или предоставления нескольких сервисов на одном подключении.

Проектирование

В рамках проектирования сети в посёлке используется многоуровневая структура, которая обеспечивает стабильное подключение абонентов к оптоволоконной инфраструктуре. Центральным элементом системы является распределительная муфта Р4, выступающая в роли главного узла. К ней подводится магистральный оптоволоконный кабель от оператора связи, что делает Р4 отправной точкой для распределения сигнала по всему посёлку. Для эффективного разделения потоков применяются оптические делители — устройства, которые «дробят» сигнал на несколько направлений. Например, чтобы охватить все 8 участков посёлка, на первом этапе используется делитель с коэффициентом 1:8. Это позволяет направить по одному независимому оптическому каналу к каждому участку, минимизируя пересечения кабелей и упрощая дальнейшее обслуживание.

На каждом участке сигнал принимается локальной распределительной муфтой, которая выполняет роль промежуточного узла. Здесь устанавливается второй делитель-например, тоже 1:8—чтобы разделить поток между 8 абонентскими муфтами, расположенными в пределах участка. Каждая абонентская муфта, в свою очередь, подключает

конечных пользователей: от 9 до 16 домохозяйств. Такая двухуровневая схема деления (сначала на участки, затем внутри них) позволяет гибко масштабировать сеть. Если в будущем потребуется добавить новых абонентов, можно изменить конфигурацию делителей или установить дополнительные муфты без перестройки всей инфраструктуры.

Для прокладки кабелей между узлами используются столбы, которые образуют «скелет» сети. На них монтируются не только муфты и делители, но и резервные линии, что упрощает ремонт в случае обрыва. Магистральные линии между Р4 и участками прокладываются многожильными кабелями (например, на 48 волокна), что обеспечивает запас для будущего расширения. Ответвления к абонентским муфтам выполняются более тонкими кабелями (1–4 волокна), чтобы снизить затраты и упростить монтаж. Важно отметить, что все соединения защищаются герметичными боксами, которые предотвращают повреждение оборудования из-за влаги, пыли или перепадов температур.

Заключение

Реализация проекта по модернизации телекоммуникационной инфраструктуры поселка Пеледуй с использованием технологий GPON/XGS-PON продемонстрировала высокую эффективность в условиях сложных климатических и географических особенностей региона. Ключевые достижения проекта включают: обеспечение качественной связи для 95% территории поселка, включая жилые районы и промышленную зону; экономическую эффективность – снижение затрат на 30% благодаря использованию пассивных оптических компонентов; масштабируемость сети, позволяющую подключить до 1500 новых абонентов; повышенную надежность системы за счет древовидной топологии и резервирования каналов.

Список литературы

1. Федеральный закон от 07.07.2003 № 126-ФЗ «О связи».
2. Разработка и исследование метода широкополосного доступа по абонентским линиям телефонной сети на основе использования цифровых сигналов: диссертация кандидата технических наук: 05.12.13 / Штыркин Виталий Владимирович. — Москва, 2013
3. Постановление Правительства РФ № 1279 «Об обеспечении устойчивой связи в населенных пунктах РФ».
4. Техническая документация C-Data GPON OLT FD1604S-B1.

Возможности модернизации сети внутренней телефонной связи для её нестандартного использования на Иркутском релейном заводе

Моисеев П. С.^{1,2}, Ишин А. Б.¹

1 – Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

**2 – АО «Иркутский релейный завод», Иркутск, Россия
pavelmoiseev2019@gmail.com, ishin.artem@yandex.ru**

В современных производственных реалиях возникает острая необходимость в создании новых вспомогательных малоточных систем. Однако зачастую новые комплексы мониторинга и общего наблюдения базируются на постсоветских коммуникациях. В данной работе кратко описывается система внутренней проводной телефонной связи на Иркутском релейном заводе, её нестандартное использование в современных условиях и возникающие из этого проблемы. Краткое описание проблематики вопроса, попытки и варианты его решения.

Введение

Краткая историческая справка.

Ныне действующий комплекс строений Иркутского релейного завода был введён в эксплуатацию в 1980 году. Параллельно со строительством основных конструкций также шла прокладка линий внутренней телефонной связи. Помещение АТС всегда располагалось в административном корпусе рядом с приёмной директора. В помещении размером примерно 10 на 10 метров располагались сама АТС и кроссовое оборудование и по словам современников занимала 90 процентов площади (рис. 1). В 1990е-2000е года завод переживал нелегкие времена. Число сотрудников упало с нескольких тысяч до трех сотен человек. В связи с опасной криминальной обстановкой и необходимостью наращивания современных разнообразных вспомогательных систем было принято решение использовать потенциал внутренних телефонных линий для монтажа пожарно-охранных систем а чуть позже и для систем видеонаблюдения.



Рисунок 1. Фото типового кроссового оборудования времён СССР.

На сегодняшний день помещение АТС модернизировано и соответствует современным требованиям. Установлена новая компактная мини АТС Panasonic KX-TDA100DRP (рис. 2).



Рисунок 2. Фото мини АТС Panasonic KX-TDA100DRP

Кросс старого образца был заменен, на более эргономичную конструкцию, в основе которой лежит использование современных плинтов. И сейчас кросс АТС — это отдельное от основного помещения место три на три метра со специальным температурным режимом, где сосредоточен комплекс охранно-пожарного оборудования, видеорегистраторов и телефонной связи (рис. 3).



Рисунок 3. Фото современного кросса на основе плинтов.

Строение внутренней телефонной сети

Хотя коммутационное оборудование было модернизировано сами линии и их строение претерпели мало изменений.

Из помещения АТС выходят массивные телефонные кабели на 50-100 пар (рис. 4) и расходятся по корпусам завода. Там в распределительных шкафах они распределяются по кабелям на 10 пар и расходятся по ключевым точкам завода. Оттуда линии расходятся на внутренние телефоны, местные приборы ОПС, видеокамеры (рис. 5).



Рисунок 4. Варианты магистральных кабелей. (ТПП, МКС)

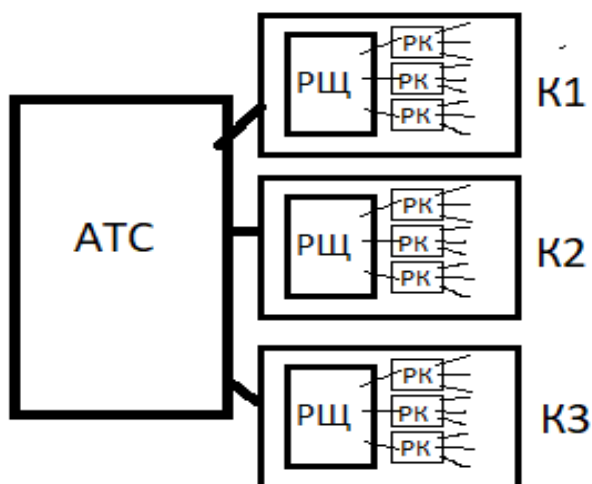


Рисунок 5. Упрощённая схема строения внутренней телефонной связи.

Проблема звукового вещания

В последние годы остро встал вопрос полной звукофикации ИРЗ. После рассмотрения нескольких вариантов было принято решение установки в каждом корпусе приборов «Октава-100ц» (прибор управления оповещением). Этот прибор многофункционален и позволяет как непосредственно транслировать звуковые сообщения и записанную музыку, так и, будучи интегрированным в систему ОПС, подавать сигналы тревоги.



Рисунок 6. Октава-100Ц

Музыкальное сопровождение по случаю праздников и знаменательных дат подаётся с микшера, установленного в АТС через систему внутренней связи ИРЗ на приборы «Октава» по корпусам.

Однако после монтажа в наиболее удалённом корпусе выяснилось, что звук, поданный таким образом на пиках начинает “садить” систему на несколько секунд что значительно ухудшает качество звучания.

Цель работы состоит в том, чтобы выявить причину этого дефекта. Возможно, сигнал теряется в связи с удалённостью от АТС или сам прибор «Октава» технически неспособен полностью воспринять трансляцию такой мощности, возможно причиной являются внутренние повреждения на изношенных участках линий связи. После выявления вероятной причины следует устранить неполадки или предложить возможные варианты решения проблемы.

Для проведения исследования было выделено десять незадействованных пар. В связи с физическим износом линий по статистике каждая четвертая пара либо выдаёт обрыв, либо повреждена в той или иной степени, поэтому после проверки мультиметром на обрыв и «землю» была выбрана надёжная неповреждённая линия. Линия проходит примерно 500-600 метров транзитом от АТС через второй корпус ИРЗ по крытой крыше до четвертого корпуса, где в распределительном шкафу переходит на прибор «Октава». При переподключении со старой линии на новую проседание музыки

осталось. Наводок на линии путем физического обследования не обнаружено. Кабель связи идет вдали от сильных источников электромагнитных помех (силовых кабелей и больших электроустановок).

После сопоставления технических характеристик микшера ART USB MIX 6 и прибора «Октава-100Ц» версия несовместимости оборудования отпала.

Основной причиной выделяется значительная протяженность линии кабеля, изначально не предназначенного для передачи высокочастотной музыки и как следствие затухание сигнала и «обрезание» пиковых частот.

Сопротивление жилы (0,4 мм, медь): ~ 148 Ом/км (для двух проводов в паре — 296 Ом/км).

На 600 м: общее сопротивление линии ≈ 177 Ом.

Ёмкость кабеля: ~ 50 нФ/км \rightarrow на 600 м = 30 нФ (может "обрезать" высокие частоты).

Потери сигнала:

На 1 кГц: затухание $\approx 0.2\text{--}0.5$ дБ/100 м \rightarrow на 600 м = 1.2–3 дБ (потеря $\sim 30\%$ мощности).

На высоких частотах (10 кГц+): затухание может достигать 5–10 дБ (сильно страдают детализация и яркость звука).

Заключение

После проведённых исследований наилучшим решением представляется замена существующего линейного кабеля ГПП на более современный аналог. Однако на данный момент это затруднительно, поскольку это потребует существенных материальных внеплановых затрат (по грубым подсчетам около миллиона рублей) и повлечет большие проблемы с внутренней телефонной связью, ОПС и другими задействованными системами завода. На данный момент возможны полумеры в виде выставления оптимального баланса мощности и частоты звукового вещания на передающих и принимающих приборах что и было сделано.

Благодарности

Выражаю искреннюю благодарность сотрудникам архивного отдела Иркутского релейного завода за предоставление необходимой информации.

Список литературы

1. Внутренняя архивная документация Иркутского релейного завода.
2. В. И. Коган. «Кабели связи. Справочник» 1989 г. Издательство «Радио и связь», М. – 544 сс.
3. Н. И. Белоусов «Кабели, провода и шнуры» 1990 г. Издательство «Энергоатомиздат», М. – 600 сс.

Выбор оборудования и определение основных режимов ультразвуковой обработки эпоксидной смолы для нужд авиастроения

Мухин Д.О., Фискин Е.М.

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Иркутск, Россия

danechka.mukhin@mail.ru, fmm1@rambler.ru

Эпоксидные смолы широко применяются в авиационной промышленности благодаря своим выдающимся механическим свойствам, устойчивости к химическим воздействиям и высокой адгезии. Они используются для производства лёгких и прочных композитов, улучшающих аэродинамические характеристики и топливную эффективность воздушных судов. Различают два типа эпоксидных смол: холодного и горячего отверждения. Последние особенно полезны в условиях высоких температур и их резких колебаний. Ультразвуковая обработка эпоксидных смол уменьшает их вязкость и способствует равномерному смешиванию компонентов, что важно для получения однородной заливки. Для успешной ультразвуковой обработки эпоксидной смолы необходимо использовать специализированное оборудование и подобрать правильные основные режимы работы.

Введение

Эпоксидные смолы (рис.1) являются важным материалом в авиационной промышленности благодаря своим выдающимся механическим свойствам, устойчивости к химическим воздействиям и высокой адгезии. Их использование в производстве легких и прочных композитов позволяет значительно улучшить аэродинамические характеристики и топливную эффективность воздушных судов. Кроме того, возможность модификации эпоксидных смол для достижения специфических свойств делает их незаменимыми в условиях, требующих высокой термостойкости и устойчивости к старению. В результате, эпоксидные смолы продолжают оставаться ключевым компонентом в разработке современных авиационных технологий.

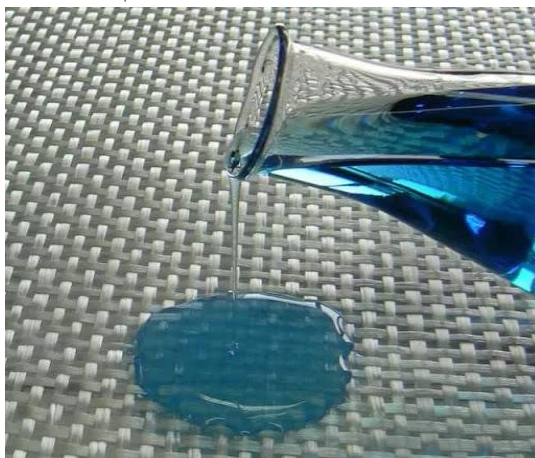


Рисунок 1. Эпоксидная смола.

Все эпоксидные смолы состоят из двух компонентов: основного состава и отвердителя. В зависимости от используемых ингредиентов различают два типа эпоксидных смол: холодного и горячего отверждения. Последний тип особенно полезен при эксплуатации в условиях высоких температур и их резких колебаний, а также под воздействием активных химических веществ.

Существует несколько видов эпоксидных смол:

1) Эпоксидно-диановые смолы: Эти смолы обладают высокой прочностью и хорошей адгезией, что делает их идеальными для использования в конструкциях воздушных судов, таких как фюзеляжи и крылья. Они также устойчивы к воздействию влаги и химических веществ.

2) Эпоксидно-модифицированные смолы: Эти смолы имеют улучшенные механические свойства и термостойкость, что делает их подходящими для применения в условиях высоких температур и нагрузок. Они часто используются в производстве композитных материалов, которые применяются в авиации.

3) Эпоксидные смолы для лакокрасочных материалов: Эти смолы используются для создания защитных покрытий на поверхности самолетов, обеспечивая защиту от коррозии и механических повреждений.

4) Специальные эпоксидные смолы: Например, смолы с добавлением углеродных волокон или других модификаторов, которые могут улучшить прочностные характеристики и устойчивость к воздействию внешней среды.

Для моей задачи можно воспользоваться ЭД-20- это прозрачная смола используется в электротехнической, радиоэлектронной промышленности, авиа-, судо- и машиностроении, в строительстве в качестве компонента заливочных и пропиточных компаундов, клея, герметиков, связующих для армированных пластиков. Характеристики ЭД-20 приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики ЭД-20

№	Наименование показателя	Требования по ГОСТ 10587-84	Фактическое значение
1	Цвет по железокобальтовой шкале, не более	3	менее 1
2	Массовая доля эпоксидных групп, %	20,00-22,5	22,2
3	Массовая доля иона хлора, %, не более	0,001	0,001
4	Массовая доля омыаемого хлора, %, не более	0,3	0,1
5	Массовая доля гидроксильных групп, %, не более	1,7	соответствует

6	Массовая доля летучих веществ, %, не более	0,2	0,07
7	Динамическая вязкость, Па*С, при 25°С	13-20	18
8	Время желатинизации с отвердителем, ч, не менее	8,0	более 8

Принципы ультразвуковой обработки

Ультразвуковая обработка основана на создании высокочастотных звуковых волн, которые проникают в жидкость и вызывают микровибрации. Эти колебания уменьшают вязкость эпоксидной смолы, что облегчает ее движение и распределение в труднодоступных местах.

Одним из ключевых процессов, происходящих при ультразвуковой обработке, является кавитация. При этом образуются пузырьки, которые быстро схлопываются, создавая локальные потоки жидкости. Это помогает удалить пузырьки воздуха из смеси, что особенно важно для достижения прозрачных и качественных заливок. В качестве очистителя можно взять ультразвуковой очиститель UC-4120 (рис.2), тех. характеристики указаны в таблице 2.



Рисунок 2. Ультразвуковой очиститель смолы UC-4120.

Таблица 2

Технические характеристики UC-4120

Объем камеры (л)	3.2
Материал корпуса	Нержавеющая сталь
Наличие подогрева	С подогревом
Режим частотной модуляции	Нет
Система слива жидкости	Нет
Функция вакуумирования	Нет

В результате работы данного очистителя достигается более равномерное смешивание компонентов, что критически важно для получения однородной заливки.

Преимущества и применение ультразвуковой обработки

- **Дегазация:** Ультразвук эффективно удаляет пузырьки воздуха из смеси смолы, что позволяет избежать дефектов в конечном продукте. Это особенно важно в декоративных приложениях, где прозрачность и эстетика имеют первостепенное значение.
- **Ускорение полимеризации:** Ультразвуковая обработка может значительно ускорить процесс полимеризации смолы, что позволяет быстрее достигать нужной прочности и твердости. Это особенно полезно в производственных условиях, где время имеет критическое значение.
- **Улучшение адгезии:** Ультразвук способствует улучшению адгезии смолы к различным поверхностям, что обеспечивает более прочное соединение и долговечность конечного продукта.

Изготовление композитов: В производстве композитных материалов ультразвуковая обработка помогает равномерно распределить эпоксидную смолу по армирующим волокнам, что улучшает механические свойства конечного продукта.

Эпоксидная смола в авиации

Эпоксидные смолы играют важную роль в авиационной промышленности благодаря своим уникальным свойствам, которые делают их идеальными для использования в различных компонентах воздушных судов. Вот несколько ключевых особенностей и преимуществ использования эпоксидной смолы в авиации:

1. Высокая прочность и жесткость

Это особенно важно в авиации, например для упрочнения и облегчения крыльев у самолета (рис.3), где снижение веса является критическим фактором для повышения топливной эффективности и улучшения летных характеристик.

2. Устойчивость к химическим воздействиям

Это делает их идеальными для использования в условиях, где компоненты могут подвергаться агрессивным химическим воздействиям.

3. Отличная адгезия

Это позволяет использовать их в качестве связующих компонентов в многослойных конструкциях, что особенно актуально для современных самолетов, которые часто изготавливаются из композитных материалов.



Рисунок 3. Кессон крыла самолета МС-21 из российских полимерных композиционных материалов прошел этап статических испытаний в ЦАГИ им. Н.Е. Жуковского.

4. Термостойкость

Эпоксидные смолы могут сохранять свои свойства при высоких температурах, что делает их подходящими для использования в условиях, где компоненты могут подвергаться значительным тепловым нагрузкам, например, в двигателях и других системах.

5. Возможность модификации

Эпоксидные смолы могут быть модифицированы с помощью различных добавок и наполнителей для улучшения их свойств, таких как ударопрочность, термостойкость и огнестойкость. Это позволяет создавать материалы, которые соответствуют специфическим требованиям авиационной отрасли.

6. Применение в композитах

Эпоксидные смолы часто используются в производстве композитных материалов, таких как углеродные и стеклопластиковые композиты. Эти материалы находят широкое применение в авиации для изготовления крыльев, фюзеляжей и других критически важных компонентов, что позволяет значительно снизить вес и улучшить аэродинамические характеристики.

7. Устойчивость к старению

Эпоксидные смолы обладают хорошей устойчивостью к старению и воздействию ультрафиолетового излучения, что делает их подходящими для использования в условиях, где компоненты могут подвергаться длительному воздействию солнечного света.

Оборудование для ультразвуковой обработки

Для успешной ультразвуковой обработки эпоксидной смолы необходимо использовать специализированное оборудование:

Ультразвуковой генератор: Выбор генератора, работающего в диапазоне частот от 20 кГц до нескольких МГц, является критически важным. Настройка частоты зависит от вязкости смолы: для более вязких смол может потребоваться более низкая частота (20-100 кГц), в то время как для менее вязких смол можно использовать более высокие частоты (от 100 кГц и выше).

Ультразвуковые преобразователи: Пьезоэлектрические преобразователи, которые эффективно преобразуют электрическую энергию в механическую, должны соответствовать частоте генератора.

Резонаторы: Резонаторы могут быть различных форм и размеров, в зависимости от вашего оборудования и необходимой частоты. Они должны быть настроены на ту же частоту, что и генератор, чтобы усилить ультразвуковые волны.

Неразрушающий контроль

Проведение неразрушающего контроля в авиации, особенно для композитных материалов, таких как эпоксидные смолы, требует использования специализированного оборудования и соблюдения определенных методик. Вот основные методы НК и соответствующее оборудование:

1. Ультразвуковой контроль (УЗК)

Метод: УЗК основан на использовании высокочастотных звуковых волн, которые проходят через материал и отражаются от границ раздела или дефектов.

- Ультразвуковые дефектоскопы:

Olympus EPOCH 650: Портативный дефектоскоп с возможностью работы с различными типами датчиков.

GE USM Go+: Легкий и удобный в использовании ультразвуковой дефектоскоп для полевых условий.

2. Рентгенографический контроль

Метод: Этот метод использует рентгеновские лучи для визуализации внутренних структур материала.

- Рентгеновские аппараты:

GE Inspection Technologies X-ray Systems: Портативные рентгеновские системы для проверки композитных материалов.

Phoenix X|aminer (рис. 4): Специализированное оборудование для рентгенографического контроля.



Рисунок 4. Рентгеновский аппарат для неразрушающего контроля Phoenix X/aminer.

- Фотопленка или цифровые детекторы: Для получения изображений внутренних структур.

3. Электромагнитные методы

Метод: Используются для обнаружения коррозии и других дефектов на металлических частях композитных конструкций.

- Электромагнитные дефектоскопы (например, от компании Olympus): Для проверки металлических компонентов на наличие трещин или коррозии.

4. Настройка оборудования:

Установите необходимые параметры (частота, чувствительность) в зависимости от используемого метода.

Проведение контроля:

Следуйте установленным процедурам для каждого метода НК. Записывайте результаты и делайте необходимые измерения. Анализ результатов и составление отчета о контроле, включая выявленные дефекты, их размеры и местоположение.

Основные режимы работы

Частота и амплитуда

Частота ультразвука определяет, какие процессы происходят в обрабатываемой среде. Например, частота 18–22 кГц часто используется для снижения вязкости эпоксидных олигомеров.

Амплитуда колебаний влияет на интенсивность ультразвукового воздействия. С увеличением амплитуды возрастает количество кавитационных пузырьков и усиливаются акустические потоки, что ускоряет процесс обработки. Однако слишком высокая амплитуда может привести к нагреву смеси, что влияет на условия полимеризации.

Длительность обработки

Время воздействия определяет, насколько сильно ультразвук влияет на свойства эпоксидной смолы. Например, обработка в течение 5–15 минут обычно считается оптимальной для снижения вязкости и улучшения других характеристик. Длительное воздействие свыше 15 минут может быть ограничено химическими реакциями отверждения, которые ускоряются при длительном воздействии

Обработка при частоте 18–22 кГц и интенсивности 15–60 Вт/см². Позволяет достичь значительного снижения вязкости и угла смачивания твёрдых поверхностей.

Воздействие ультразвуком при амплитуде 10 мкм в течение 5 секунд. При этом микротвёрдость смолы повышается на 30%, а сдвиговое напряжение при растяжении — на 24%

Заключение

Ультразвуковая обработка эпоксидной смолы открывает новые горизонты в области материаловедения и производства. Этот метод позволяет значительно улучшить качество заливок, ускорить процессы и расширить возможности применения эпоксидной смолы в различных отраслях, включая авиационную промышленность. С учетом всех преимуществ, ультразвук становится незаменимым инструментом для профессионалов, работающих с эпоксидными материалами. В дальнейшем исследовании стоит обратить внимание на оптимизацию параметров ультразвуковой обработки для достижения наилучших результатов в различных приложениях.

Список литературы.

1. Технология получения и применение эпоксидно-диановой смолы марки «эд-20» – URL: <http://intjournal.ru/wp-content/uploads/2019/06/Simonik.pdf> (дата обращения: 05.05.2025). – Текст: электронный.
2. Промышленная химия. Смолы эпоксидно-диановые и компоненты к ним – URL: <https://elmica.ru/assets/files/listovki/smoly-epoksidno-dianovye-i-komponenty-k-nim-2016.pdf> (дата обращения: 05.05.2025). – Текст : электронный.
3. ГОСТ Р 56211-2014 Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные – 14 с. : <https://arm-plast.ru/documents/smola/gost-r-56211-2014.pdf?ysclid=m99pwdvwa2834945903> (дата обращения: 05.05.2025). – Текст : электронный.
4. Авиационная эпоксидная смола, смола для карбона – URL: <https://эпоксид.рус/poleznaya-informacia/aviacionnaya-epoksidnaya-smola/?ysclid=m99qfwisly545375747> (дата обращения: 05.05.2025). – Текст : электронный.
5. Ускорение процессов в жидких средах – URL: https://u-sonic.ru/catalog/apparaty_dlya_uskoreniya_protseessov_v_zhidkikh_sredakh/ (дата обращения: 05.05.2025). – Текст : электронный.

Повышение точности измерения уровня воды Байкальской природной акватории

Николаев А.А.^{1,2}, Фискин Е.М.^{1,2}, Фискина М.М.¹, Конопелько Д.В.¹

1 – Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

2 – ООО «Научно Технический Центр «КУМИР», Иркутск, Россия
nikolaev-9494@mail.ru, dima.konopelko.96@mail.ru

В данной статье показаны варианты повышения точности при измерении уровня воды Байкальской природной акватории. Предложен новый метод измерения уровня воды, который направлен на разрешение текущих и нерешенных на сегодняшний день задач. Переход на новый метод измерения позволит повысить точность измерений, вычислять как средний уровень всего озера Байкал, так и локальный, в определенных регионах озера. Наиболее подходящий метод был выбран в качестве основного, с последующим моделированием в программе, а затем применен к прототипу измерительного устройства.

Ключевые слова: информационно-измерительная система, мониторинг уровня воды, оперативный мониторинг.

Введение. Точная оценка уровня воды в озере Байкал является одним из основных показателей, отклонение которого от нормального может вызвать ряд серьезных проблем, имеющих влияние практически на всех участников водохозяйственного комплекса: промышленного и коммунально-бытового водоснабжения, водного транспорта, электроэнергетики, экологии.

Более подробно этот вопрос рассмотрен нашими коллегами из Лимнологического института. [1-5]

Цель работы. Повышение точности системы оперативного мониторинга уровня воды позволит производить своевременную корректировку водозаборных режимов эксплуатируемых ГЭС и каскадов ГЭС, в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах, с целью своевременного реагирования и предотвращения Экологических, Водохозяйственных, Социальных и Технических проблем.

Актуальность. В соответствии с нормативно правовыми актами Российской Федерации, а именно Федерального закона от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» в 2013 году разработан стандарт СТО РусГидро 06.01.84-2013, который устанавливает единые требования к процессу планирования водозаборных режимов эксплуатируемых ГЭС и каскадов ГЭС в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах.

Данный стандарт учитывает в себе требования федеральных законов, законодательных актов и стандартов, основные из них приведены ниже:

- 1) СТО 17330282.27.140.015-2008 «Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования»,

- 2) СТО 02.01.80-2012 «Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования».

Основная часть. Изменение уровня воды в озере Байкал всего на (± 1 см) соответствует ± 0.32 км³ объема (или скорости наполнения/сработки озера ± 3700 м³/с) без учета его внутрисуточных колебаний, имеющих значительные величины (до 9–17 см).

Данный показатель играет очень важную роль, как в экосистеме озера, так и в регулировании водного стока и в обеспечении режима работы Иркутской ГЭС.

Негативное воздействие экстремально низких уровней воды в озере Байкал связано со значительными изменениями гидрологических и гидрохимических показателей в прибрежной зоне озера, мелководных заливах и прибрежных отчлененных озерах.

Экстремально высокие уровни озера также в значительной мере негативно воздействуют на ряд элементов биоты: перемещение части нерестилищ прибрежно размножающихся рогатковидных рыб на большие глубинные горизонты; повышение доступности их производителей для хищников; затопление гнездовых местообитаний водоплавающих и околоводных птиц.

Таким образом, для решения данных проблем нами предложено устройство измерения уровня воды, которое работает следующим образом, посредством чувствительных элементов измеряется разница атмосферного давления между наземной и измерительной станцией, после чего полученные данные передаются по радиоканалу на наземную измерительную станцию для последующей отправки и обработки на сервере. Схема способа измерения уровня воды представлена на рисунке 1.

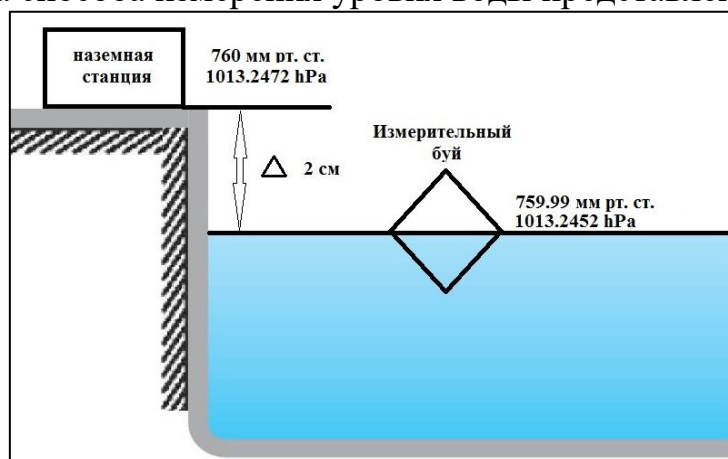


Рисунок 1. Способ измерения уровня воды.

При выборе чувствительного элемента мы провели сравнение высокоточных датчиков различных производителей. В результате такого обзора нами был выбран наиболее точный датчик, а именно DPS368XTSA1 на котором и была построена лабораторная модель измерительного зонда.

Устройство для измерения уровня воды будет представлять 2-модульную компоновку, а именно плату измерителя и плату радиомодема.

В результате проведения лабораторных тестов по проверке точности измерений было установлено, что с 1 датчиком погрешность измерения составила порядка 5 Па. Это соответствует погрешности изменения уровня воды в 43 см. Результаты показаны на рисунке 2.

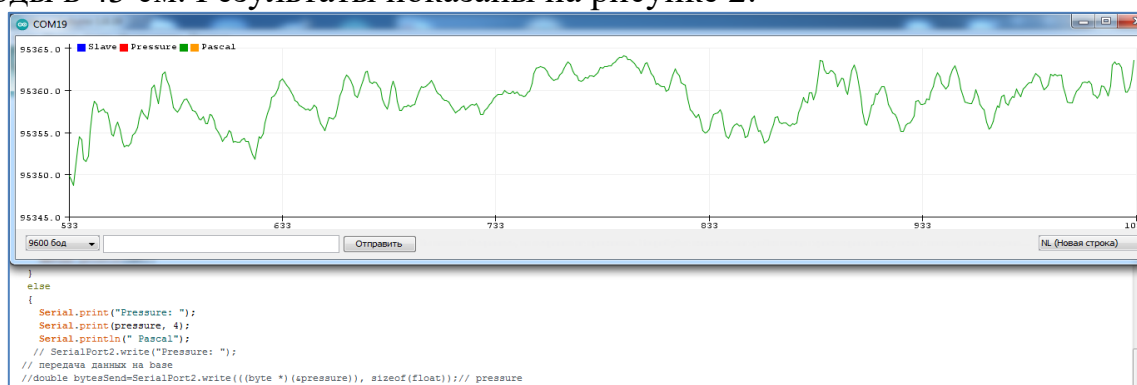


Рисунок 2. Проверка погрешности измерения системы с 1 датчиком

Данные результаты свидетельствуют о том, что в режиме работы датчика на максимальной чувствительности они сильно реагируют на любые изменения давления в пространстве, что и приводит к дополнительной погрешности измерений.

Для повышения точности измерений в системе был применен один из методов повышения точности, а именно метод информационной избыточности. С целью установления оптимального количества датчиков на одной точке мониторинга, была использована программа AnyLogic.

Результаты моделирования измерений уровня воды показаны на рисунке 3.

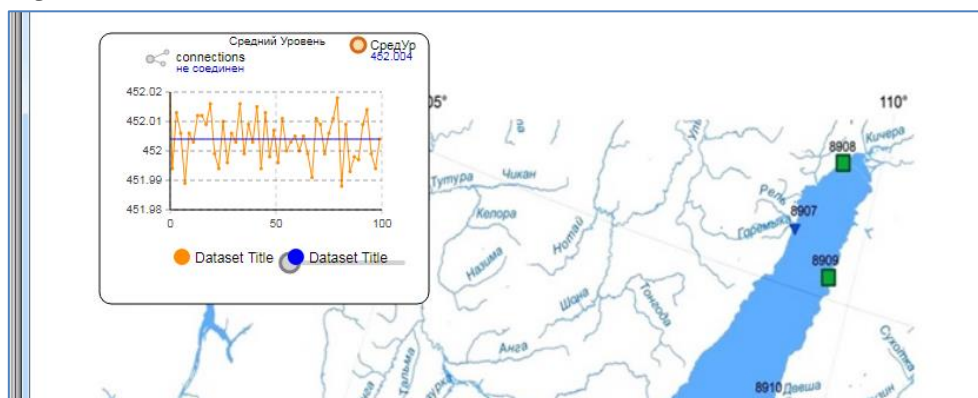


Рисунок 3. Результат моделирования измерения уровня

На графике рисунка 3 можно отметить, что синяя линия - это заданный опорный уровень воды озера Байкал равный 452,004м относительно моря, оранжевая линия показывает математически рассчитанный текущий уровень воды.

В результате моделирования погрешность измерений составила более 2 см.

Для дальнейшего повышения точности измерений применим способ многократных наблюдений, т.е. оценим влияние увеличения количества чувствительных элементов в одной станции и определим наиболее оптимальное количество.

В результате нескольких этапов моделирования была составлена таблица, показанная на рисунке 4.

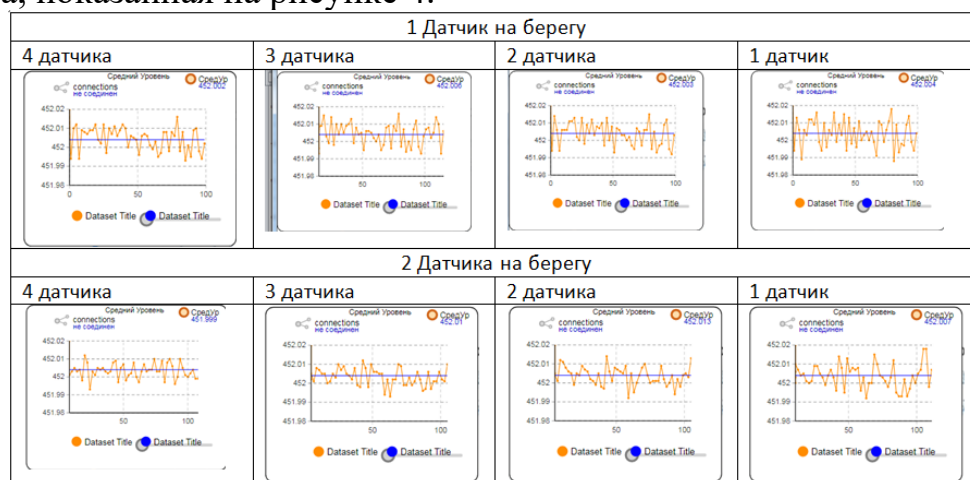


Рисунок 4. Результат моделирования измерения уровня

Из полученных графиков измерения уровня воды можно сделать следующий вывод, что оптимальным количеством измерительных элементов на одной точке мониторинга, является количество чувствительных элементов, равное двум.

Так при использовании одного чувствительного элемента погрешность измерений составляет более 2 см, а при двух точность повысилась, и погрешность не превышала 1.5 см за весь период модельного времени.

Таким образом, по результатам моделирования использование 2 чувствительных элементов на одной точке мониторинга является оптимальным.

Однако текущей погрешности измерений не достаточно, так как среднесуточный уровень оз. Байкала, является одним из важнейших показателей при расчете полезного объема водохранилища, и как следствие расчета водноэнергетического режима работы ГЭС, имеется ряд существенных ограничений, одно из которых:

1) Требования по точности измерения уровня (± 1 см), что соответствует ± 0.32 км³ объема (или скорости наполнения/сработки озера ± 3700 м³/с) без учета его внутрисуточных колебаний, имеющих значительные величины (до 9–17 см);

Исходя из требования к точности, нами была проведена дальнейшая модернизация предложенного нами устройства.

А именно рассматривается перенос измерительного датчика непосредственно в воду, заранее заключенного в герметичную камеру с мембранной перегородкой, либо заполнение части измерительной колбы водой, с целью наиболее плавного измерения давления, а так же нивелировать резкие перепады давления.

В результате, при работе одного датчика погрешность измерений составила 0,8 Па при обычных условиях, и снизилась до 0,2 Па при помещении измерительного элемента в герметичный бокс, с мембраной, что соответствует повышению точности на 75%.

На текущий момент нами проводится аппаратная и программная модернизация датчиков давления, с целью уменьшения влияния случайных помех и резких скачков давления, вызванных сторонними факторами.

Новая идея повышения точности измерений заключается в использовании герметичной измерительной трубки помещенной непосредственно в воду.

Измеряющий зонд от датчика помещается на отметку 250 мл мерного цилиндра, и опускается до отметки 152 мл. Среда заполнения мерного цилиндра воздух. Это имитация измерения перепада атмосферного давления в нашем способе предложенном изначально.

На рисунке 5 показан мерный цилиндр и график изменения показаний с датчика при перемещении датчика по вертикали.

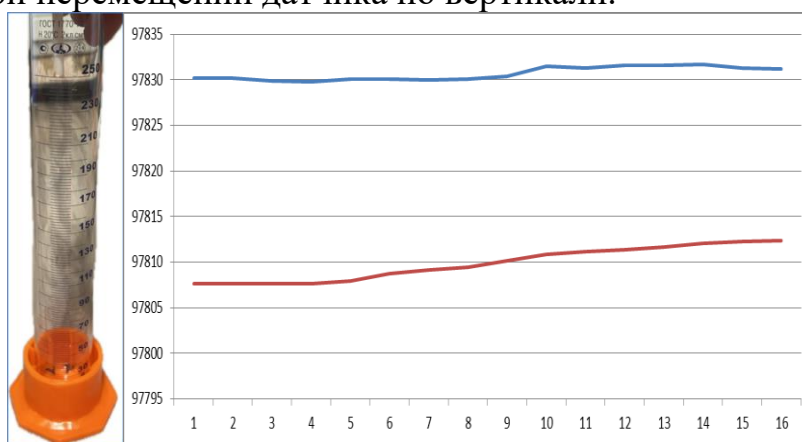


Рисунок 5. Результаты лабораторных тестов

Эквивалентное расстояние перемещения по вертикали составляет 8,6 см, как видно из опыта при такой конфигурации датчик с низкой чувствительностью среагировал на данное перемещение, в таком случае разница составила примерно 1 Па, что в вертикальной шкале соответствует 30 см, в таком случае это входит в погрешность измерений.

Используя герметичную трубку и водную среду, мы получили следующие данные, показанные на рисунке 6.

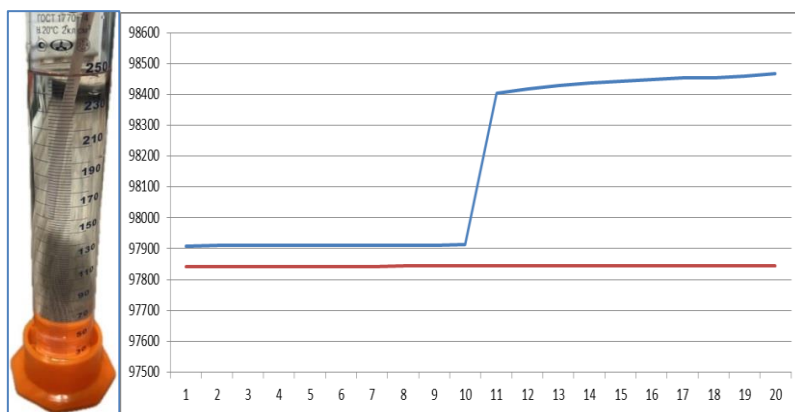


Рисунок 6. Результаты лабораторных тестов

Эквивалентное расстояние перемещения по вертикали составляет 8,6 см, как видно из опыта при такой конфигурации датчик с высокой чувствительностью среагировал на данное перемещение, и в текущем случае разница составила 489,09 Па.

При расчетах изменению в 1 см соответствует 56,86 Па. В такой конфигурации погрешности 1 Па соответствует $\approx 0,17$ мм.

Таким образом, предлагается конструктивное изменение измерительной системы, а именно добавление измерительной трубки к устройству измерительного узла. Пример показан на рисунке 7.

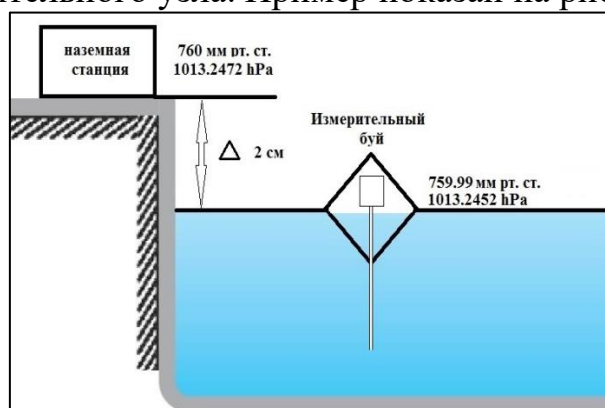


Рисунок 7. Изменение измерительного узла

Однако при такой конфигурации остается открытым вопрос эксплуатации подобной системы в зимний период, так как ледяной покров может свести на нет весь измерительный комплекс, поэтому на данном этапе мы рассматриваем использование датчика относительного давления, который позволит решить ряд технических и экономических вопросов.

Концептуальная идея показана на рисунке 8.

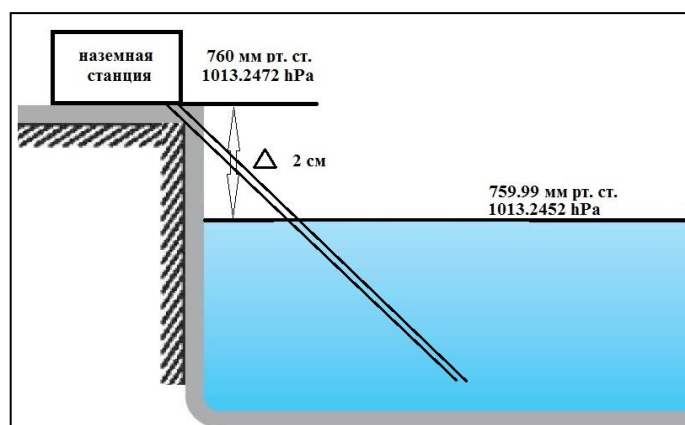


Рисунок 8. Концептуальная идея измерительного узла

Как видно из рисунка использование подобной конфигурации позволит упростить измерительный комплекс, исключив водный кластер и упростить конструкцию измерительной станции.

Новый рассматриваемый датчик показан на рисунке 9.

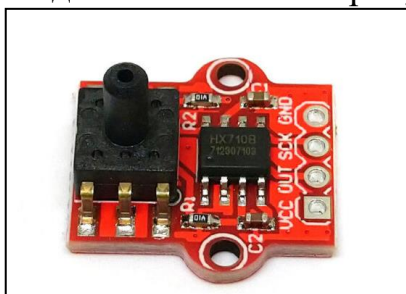


Рисунок 9. Модуль датчика относительного давления MPS20N0040D-D со встроенным АЦП HX710B

Измеряя относительное давление мы планируем упростить этапы измерения и исключить предварительную калибровку датчиков, так как в данном датчике уже исключается влияние изменения атмосферного давления, а встроенный АЦП позволит упростить как работу, так и последующую обработку данных с датчика на сервере.

Заключение. В данной статье были показаны способы повышения точности системы мониторинга уровня воды Байкальской природной акватории.

Приведены примеры повышения точности измерений, результаты лабораторных испытаний и концептуальные проекты над которыми ведется работа.

Текущая работа над системой мониторинга заключается в проведении тестовых испытаний системы новой конфигурации и с новым датчиком, программной модернизации, а так же и отладке работы всей системы в целом.

Список литературы

1. Никитин В.М., Абасов Н.В., Осипчук Е.Н., Бережных Т.В. Влияние проектируемых ГЭС Монголии на сток реки селенга в России // Россия и Монголия: результаты и перспективы научного сотрудничества, Иркутск, 06–08 апреля 2022 года, -С. 196-199.
2. Бычков И.В., Никитин В.М. Проект "Влияние изменения уровня воды в озере Байкал на состояние экосистемы озера, определение ущерба объектам экономики и инфраструктуры прибрежной территории республики Бурятия, Иркутской области в зависимости от уровней озера и сбросов иркутской ГЭС"// Фундаментальные исследования в Восточной Сибири: К 75-Летию академической науки в Восточной Сибири, 2023, -С. 562-571.
3. Никитин В.М., Абасов Н.В., Бычков И.В., Осипчук Е.Н. Уровенный режим озера Байкал// География и природные ресурсы, 2019, -С. 74-83.
4. Абасов Н.В., Бережных Т.В., Никитин В.М., Осипчук Е.Н. Изменения уровня режима оз. Байкал и расходов р. Ангары в современных климатических условиях// Современные тенденции и перспективы развития гидрометеорологии в России. Материалы II Всероссийской научно-практической конференции, приуроченной к 55-летию кафедры гидрологии и природопользования ИГУ. 2019, -С. 81-91.
5. Абасов Н.В., Болгов М.В., Никитин В.М., Осипчук Е.Н. О регулировании уровня озера Байкал // Водные ресурсы, 2017, -С. 407-416.
6. Бычков И.В., Никитин В.М. Современные проблемы регулирования уровня озера Байкал // География и природные ресурсы, 2022, -С. 13-24.
7. Суходолов А.П., Федотов А.П., Макаров М.М., Аношко П.Н., Колесникова А.В., Суходолов Я.А., Сорокина П.Г., Эколого-правовые и экономические особенности развития маломорского рыбопромыслового района Байкала // Рыбное хозяйство, 2021, - С. 20-26.
8. Комплекс учета и мониторинга ООО "НТЦ КУМИР" [Электронный ресурс] // Статья: [сайт]. [2025]. URL: <http://ntckumir.ru> (дата обращения 09.05.2025).
9. Николаев А.А. Разработка инновационного метода определения уровня воды открытых водоемов с возможностью радиоканальной передачи телеметрических данных / А.А. Николаев //Материалы всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири». - Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2022, -С. 333-338.
10. Патент на изобретение N 2812614 от 30.01.2024. Способ измерения среднего уровня воды в открытых водоемах и устройство для его осуществления / Николаев А.А., Белоусов Р.А., Пинкин А.А., Федчишин В.В., Фискин Е.М., Фискина М.М.
11. РМГ 64-2003. ГСП. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений.
12. МИ 2246-93. ГСП. Погрешности измерений. Обозначения.
13. Брюханов В. А. Методы повышения точности измерений в промышленности. - М.: Издательство стандартов. -1991 г.
14. Сергеев А.Г. Метрология и метрологическое обеспечение. - М.: Высшее образование. - 2008 г.
15. Богомоллов Ю.А., Медовикова Н.Я., Рейх Н.Н. Оценивание погрешностей измерений. - М.: Академия стандартизации, метрологии и сертификации. - 2004 г.
16. Ким К. К. Метрология, стандартизация, сертификация и электроизмерительная техника. -С.-Пб.: Издательство «Питер».

Проект строительства сети широкополосного доступа микрорайона Союз города Иркутска

Никулин О.А., Дмитриев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

nikulin-oleg@mail.ru, dmtaa77fti@gmail.com

В данной научной работе представлены результаты комплексного исследования по проектированию и внедрению современной сети широкополосного доступа (ШПД) в новом жилом микрорайоне "Союз" г. Иркутска. Проведен детальный анализ технологических решений с обоснованием выбора симметричной XGS-PON технологии. Разработана оригинальная трехуровневая архитектура сети с адаптивными коэффициентами деления оптического сигнала. Предложена математическая модель расчета оптического бюджета мощности для многоэтажных зданий различной высотности. Приведены результаты экспериментальных измерений параметров сети после ввода в эксплуатацию, демонстрирующие соответствие строгим требованиям к качеству обслуживания (QoS). Особое внимание уделено вопросам энергоэффективности и экологической безопасности реализованных решений.

Одной из самых актуальных задач построения развитой инфокоммуникационной структуры города Иркутска является обеспечение всех жилых районов надежным и высококачественным доступом в сеть. К сожалению, не все районы города имеют выход в сеть с подобными параметрами.

Целью данной статьи стала разработка предложений к созданию работоспособной и экономически выгодной абонентской оптической сети доступа для микрорайона Союз.

Для достижения поставленной цели решены следующие задачи: выбрана наиболее перспективная технология построения сети доступа; проведена оценка потенциального количества абонентов, проживающих в данном районе; разработана схема построения сети; по соотношению цены и качества выбрано оборудование (стационарное, абонентское и различные пассивные компоненты) и ВОК (волоконно-оптический кабель); выполнен расчет оптического бюджета.

Наиболее популярными технологиями на данный момент являются PON.

Таблица 1

Сравнительные характеристики технологии доступа

Параметр	FTTB	GPON	XGS-PON
Макс. Скорость	1 Гбит/с	2,5/1,25 Гбит/с	10/10 Гбит/с
Симметричность	Нет	Нет	Нет
Энергопотребление	5,2 кВт	3,8 кВт	3,2 кВт
CAPEX (руб./абонент)	18500	12700	14200

Поддержка IoT	Ограничена	Частичная	Полная
---------------	------------	-----------	--------

Проведенный выше анализ позволяет сделать однозначный вывод о том, что технология XGS-PON представляет собой наиболее перспективное решение для построения сети широкополосного доступа в микрорайоне "Союз". Это обусловлено целым рядом ключевых преимуществ, среди которых в первую очередь следует отметить рекордную симметричную скорость передачи данных до 10 Гбит/с в обоих направлениях, что на порядок превышает возможности традиционных FTTH-решений и почти в четыре раза превосходит показатели стандартной GPON-технологии. Высокая пропускная способность XGS-PON обеспечивает не только удовлетворение текущих потребностей абонентов в скоростном доступе, но и создает значительный технологический задел на будущее, позволяя без модернизации инфраструктуры поддерживать перспективные сервисы, включая 4K/8K-видео, виртуальную реальность и облачные вычисления.

Оценка потенциального количества абонентов проводилась по градостроительному плану микрорайона. Общее число жильцов - приблизительно 2000 человек.

Для построения сети за основу выбрана древовидная структура, вид которой представлен на (рис. 1) [1].

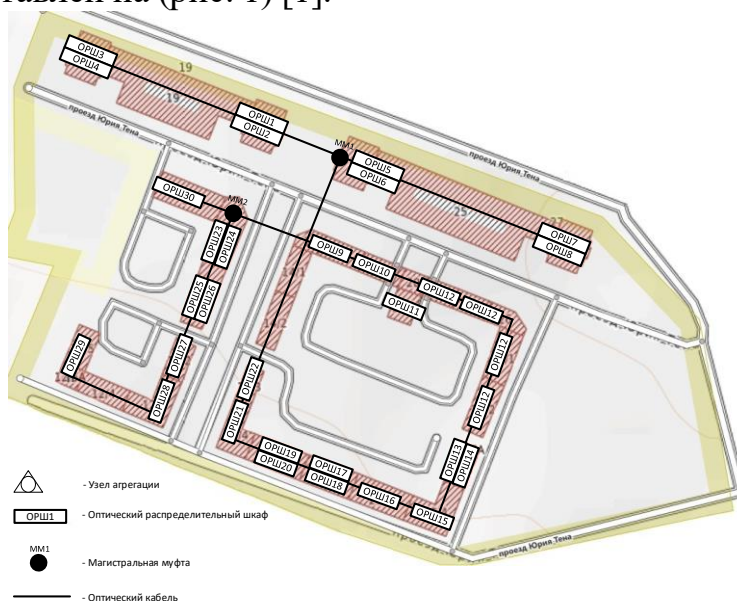


Рисунок. 1. Схема проектируемого участка

На каждый подключаемый дом необходимо использовать минимум 2 ветки, каждая на 64 абонента. Таким образом, всего в работе будет задействован 31 порт. Для простоты построения древовидной структуры дома будут подключены по кабельной канализации микрорайона.

До самого микрорайона идет магистральный сегмент, расположенный в здании АТС по улице Лермонтова дом 339 изображенный на схеме (рис. 2).



Рисунок. 2. Схема магистрального участка

Магистральный сегмент проложен по существующей кабельной канализации, его длина до проектируемого участка составляет 2,5 км с возможностью продления дальше по улице для подключения следующего микрорайона. На схеме проектируемого участка присутствуют 31 ветка каждая ветка подключается к своей ОРШ расположенных в жилых многоквартирных домах. Кроме этого было подсчитано, что всего необходимо 6 сварных и 4 разъёмных соединений.

Следующим этапом построения является выбор пассивного и активного оборудования. В данном случае были выбраны следующие устройства: OLT - Eltex OLT LTX-16C, ONT - NTX-RG-5521-WAX-Z, БОК: ОКБ-6Сп-24 7 кН (магистральный), ОКВнг (А)-HF-P-12 (прокладка внутри зданий), ОКД-2Д 01 G.657.A1-0,8кН (кабель для подключения абонентов), сплиттеры - PLC 1 × 4 SC/APC, PLC 1 × 16 SC/APC, ОРШ — ШКОН-КПВ-320(10)-288SC/ФЗС-ОРШ128, муфты МОГ-Т4-1КБ4845 ССД, абонентская розетка - ШКОН-ПА-1-SC-SC/APC-SC/APC [2], [3].

Далее рассчитываем оптический бюджет мощности [4] по формуле $OB = T - (-R)$,

где T — выходная мощность передатчика (в данном случае равна +5 дБ); R - чувствительность приемника (в данном случае равна 29 дБ). Таким образом, оптический бюджет равен 34 дБ. Необходимо также учитывать запас мощности в 3 дБ, так как линия не является идеальной.

Последний этап заключается в расчете затухания по формуле, представленной ниже [4]:

$$A = L * \alpha_x + N_p * A_p + N_c * A_c + A_{spl},$$

где L — общая длина участка (сумма длины магистрали, расстояния до 1-го сплиттера, до 2-го сплиттера и до конечного пользователя);

α_x — затухание сигнала в оптическом кабеле на определенной длине волны (0,35 дБ для 1270 нм и 0,25 дБ для 1577 нм [4]);

N_p — общее количество разъёмных соединений;

A_p — средние потери на одно разъемное соединение (0,4 дБ [4]);
 N_c — общее количество сварных соединений;
 A_c — средние потери на одно сварное соединение (0,05 дБ [4]);
 A_{spl} — суммарные потери в оптических сплиттерах (13,5 дБ для 1×16 и 7,1 дБ для 1×4 [4]).

При расчете затухания потери не превышают энергетический потенциал, и имеют запас мощности для 1270 нм +4,8 дБ и +6,8 дБ для 1577 нм таким образом, данная схема организации сети составлена правильно и может применяться для строительства сети PON.

В результате проведенной работы была успешно разработана оптимальная архитектура широкополосной сети доступа для нового жилого микрорайона "Союз" в Иркутске. После тщательного анализа современных технологических решений в качестве базовой платформы была выбрана перспективная технология XGS-PON, которая не только обеспечивает рекордную симметричную скорость передачи данных до 10 Гбит/с в обоих направлениях, но и обладает значительным потенциалом для дальнейшего масштабирования.

Разработанная древовидная структура сети продемонстрировала свою эффективность при подключении более 2000 абонентов. Проведенные расчёты оптического бюджета мощности подтвердили надёжность проектных решений - запас мощности составил +4,8 дБ для длины волны 1270 нм и +6,8 дБ для 1577 нм, что гарантирует стабильную работу сети в различных условиях эксплуатации.

Полученные результаты имеют практическую ценность и могут быть масштабированы для применения в других районах Иркутска. Разработанная архитектура сети и методика расчётов представляют интерес для дальнейшего развития телекоммуникационной инфраструктуры города с учётом перспективных технологических трендов. Особенно актуальным представляется внедрение подобных решений в новых строящихся микрорайонах, где имеется возможность изначально закладывать современные телекоммуникационные решения в проектную документацию.

Список литературы

1. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. — М.: Радио и связь, 2020. — 416 с.
2. Официальный сайт производителя оборудования Eltex [Электронный ресурс]. — URL:<https://www.eltex.ru>
3. Попов С.А. Пассивное оборудование PON. Эволюция продолжается // Вестник связи. 2011. №11.
4. Попова Б.В. Строительство и техническая эксплуатация волоконно-оптических линий связи. — М.: Радио и связь, 1995. — 320 с.
5. Слепов Н.Н. Современные технологии цифровых оптоволоконных сетей связи. — М.: Радио и связь, 2000. — 382 с.

Метод обнаружения сверхслабых локальных возмущений ионосферы, вызванных пролётом МКС, по данным ГНСС-зондирования

Осипов К.А., Ишин А.Б.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

nikkie.33302@gmail.com, ishin.artem@yandex.ru

Представлен алгоритм выявления разрежённого плазменного следа Международной космической станции (МКС) по вертикальному полному электронному содержанию (VTEC), вычисленному из двухчастотных наблюдений сети GNSS приёмников (Новая Зеландия). Ключевым элементом является статистическое накопление VTEC в системе координат, связанной с МКС; локальные отклонения $|\Delta\text{TEC}| \geq 0,15 \text{ TECU}$ при окне фильтрации 2-15 минут интерпретируются как сигнатура возмущения. Проведён анализ 10 пролётов (2019 г.) с разрешением данных 30 с; в 3 случаях обнаружен эффект «шлейфа» после движения МКС. Работа расширяет возможности наземного мониторинга микроплазменных эффектов крупных орбитальных объектов.

Введение

Ионосфера — ключевой фактор, ограничивающий точность спутниковой навигации и радиосвязи. Локальные возмущения электронной плотности изменяют фазу и групповую задержку GNSS сигналов. Помимо естественных причин (солнечно геофизическая активность, TID — travelling ionospheric disturbances), возможны антропогенные воздействия. Пример — крупный объект в низкой околоземной орбите, движущийся со сверхзвуковой для ионной плазмы скоростью (МКС $\approx 7,7 \text{ км/с}$). За корпусом образуется область сниженной концентрации электронов — плазменный шлейф, длина которого варьируется от сотен метров до нескольких километров. На момент подготовки статьи независимых наземных наблюдений такого эффекта в литературе не выявлено.

Цель настоящей работы — разработать воспроизводимый метод детектирования плазменного шлейфа МКС по наземным GNSS данным и экспериментально подтвердить его существование

Данные

Для проверки метода использована самая плотная в южном полушарии сеть постоянных GNSS-приёмников — сеть GeoNet/GNS Science, покрывающая Новую Зеландию. На выбранный период (2019г.) было доступно 186 станций с 30-секундным шагом наблюдений в формате RINEX. Каждая станция ведёт непрерывную регистрацию двухчастотных сигналов GPS и ГЛОНАСС, что даёт возможность оценивать фазовый TEC с формальной дисперсией порядка 0,05 TECU.

Эфемериды МКС извлекались из каталога Celestrak в виде TLE-записей. Для каждой эпохи расчёт орбиты выполнялся библиотекой SGP4; полученная траектория позволяет определить момент надвигания станции на сектор сети и рассчитать относительное положение каждой ионосферной точки (IPP) в системе координат, центрированной на корпусе МКС. Такой переход критически важен: именно в подвижной системе координат плазменный шлейф остаётся «стационарным» объектом, тогда как в земной системе он размазывается вдоль орбитальной дуги.

Качество исходных RINEX-файлов контролировалось следующими ограничениями: Во-первых, из выборки исключались дни с высоким геомагнитных индексов, при $K_p \geq 4$ и $|Dst| \geq 50$ нТ, Во-вторых, отклонения угла места меньше 30° от горизонта исключали сигналы с повышенным многолучевым приемом.

Методика

Методика базируется на пошаговой трансформации спутниковых наблюдений в количественную карту возмущений, «подвязанную» к траектории Международной космической станции. На первом этапе для каждой станции рассчитывается наклонное полное электронное содержание (STEC) по двойной фазовой разности частот L1/L2; затем оно приводится к «вертикальному» значению (VTEC) с помощью высотно-углового картографического коэффициента. Чтобы исключить медленные фоновые колебания, в ряду VTEC применяется скользящий медианный фильтр с окном 2–15 минут: такая ширина фильтрации позволяет «быстрее» реагировать на колебания ряда, но одновременно пропускает часть фоновых процессов и предположительно может искажать «хвост» плазменного шлейфа, длительность которого исчисляется единицами минут. На рис. 1 схематично показана геометрия луча «спутник – IPP – приёмник» и расположение плазменного шлейфа за корпусом МКС.

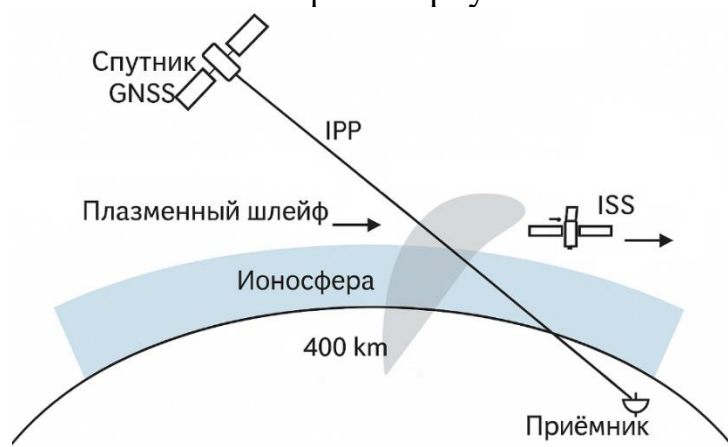


Рисунок 1. Геометрия луча «спутник-приемник» и расположение плазменного шлейфа

Полученные остатки (ΔTEC) сравниваются с адаптивным порогом, равным тройной среднеквадратичной погрешности фазового измерения ($\approx 0,05 \text{ TECU}$ при 30-секундном шаге наблюдений). Таким образом, в выборку попадают все эпизоды, но учитываются при анализе только те, где $|\Delta\text{TEC}| \geq 0,15 \text{ TECU}$. Далее координаты каждой ионосферной точки (IPR) пересчитываются в систему, сопряжённую с корпусом МКС — ось Y направлена вдоль вектора скорости станции, X — вправо по ходу, Z — к центру Земли (см. рис. 2).

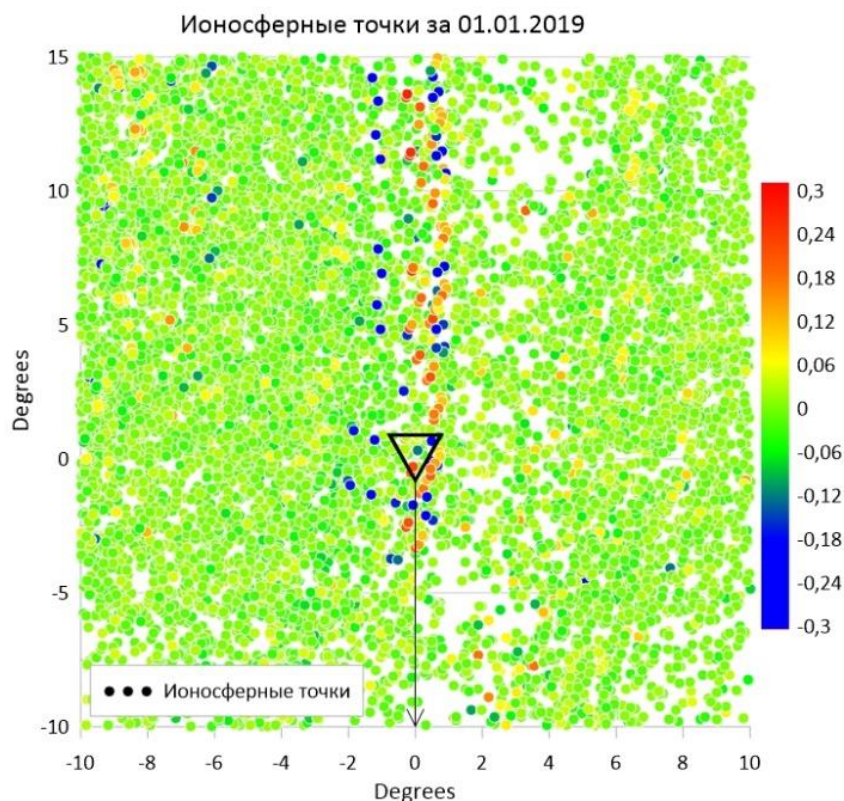


Рисунок 2. Ионосферные точки, пересчитанные в систему координат сопряженных с МКС

Результаты

Наиболее показательные случаи наблюдались 1, 2 и 3 января 2019 года, когда МКС пересекла центральную часть Новой Зеландии почти по зениту сети. На карте ионосферных точек, построенной для пролётов за этот день (см. рис. 3), отчётливо виден вытянутый «гребень» отрицательных и положительных значений ΔTEC , совпадающий с проекцией орбитальной трассы. Минимальное значение $-0,3 \text{ TECU}$ превосходит фоновое стандартное отклонение в 6 раз, а длина зоны пониженной плотности достигает $\sim 1600 \text{ км}$ вдоль оси полёта при ширине порядка 400 км .

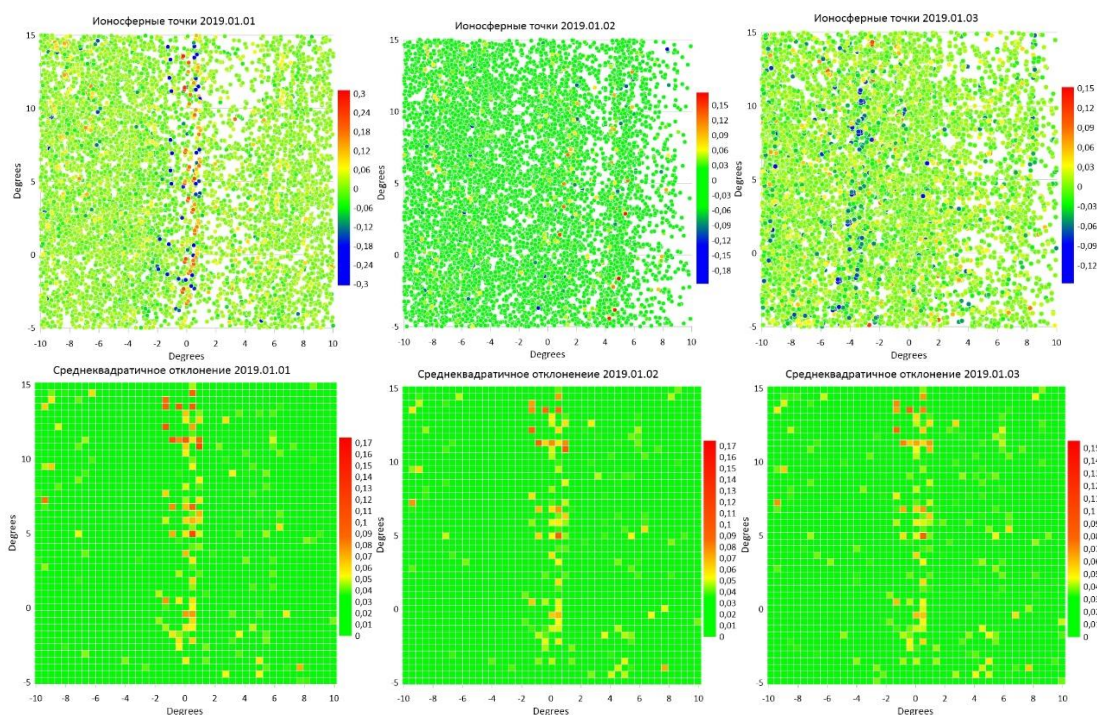


Рисунок 3. Результаты Работы программы по методу накопления данных и рассчитанное среднеквадратичное отклонение

Заключение

Разработан и апробирован метод выявления сверхслабых локальных возмущений VTEC, вызванных МКС. Порог 0,15 TECU при 30-с данных и медианной фильтрации 2–15 мин обеспечивает приемлемое обнаружение, но требуются доработки такие как введение дополнительной контрольной выборки «пустых» суток без пролёта МКС над сетью. Её статистика ложноположительных срабатываний послужит базовой оценкой надёжности методики. Также необходимо провести выборку и сравнение при изменении окна фильтрации на 15-60 минут для подавления средне- и крупномасштабных TID. Будущая работа будет включать использование 1-с данных, а также моделирование взаимодействия МКС-плазмы в MHD-кодах.

Список литературы

1. Перевалова Н.П. Исследование ионосферных возмущений методом трансionoсферного GPS-зондирования. — Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2014. — 286 с
2. Казимировский Э.С. Волшебное зеркало планеты: Ионосфера и большинство её загадок. — Иркутск: ИСЗФ СО РАН, 2015. — 135 с
3. Ясюкевич Ю.В. Отклик ионосферы на гелио- и геофизические возмущающие факторы по данным GPS. — Иркутск: Изд-во ИСЗФ СО РАН, 2013. — 260 с
4. Афраймович Э.Л. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли / Э.Л. Афраймович, Н.П. Перевалова – Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАН. 2006. — 480 с.

Особенности лазерной дальнометрии в обсерватории «Бадары»

Полубенцев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет
artimohastar@mail.ru

Наиболее точным методом измерения дальности до искусственных спутников Земли является лазерная локация (SLR – Satellite Laser Ranging). В статье приводятся результаты разработанного алгоритма вторичной обработки данных полученных при помощи квантово-оптической системы (КОС) «Сажень-ТМ». Представлено описание принципа измерения дальности основного компонента КОС – системы измерения дальности (СИД).

Введение

В рамках реализации системы колокации на базе РСДБ-комплекса «Квазар-КВО» в 2011 году на всех радиоастрономических обсерваториях комплекса («Бадары», «Зеленчукская» и «Светлое») установлены квантово-оптические системы для проведения лазерных наблюдений геодезических и навигационных спутников.

Система может проводить лазерную локацию спутников в диапазоне высот от 400 до 23000 км. Наблюдения спутников с высотой до 6000 км могут быть проведены и в дневное время суток.

Основные области применения результатов лазерной дальнометрии КА:

- Уточнение орбит спутников (включая системы GPS, ГЛОНАСС);
- Исследования гравитационного поля Земли;
- Определение параметров вращения Земли (ПВЗ);
- Фундаментальные науки о Земле.

Настоящая работа посвящена анализу данных лазерной дальнометрии искусственных спутников Земли для контроля корректной работы КОС

Принцип измерения дальности

Лазерная дальнометрия основана на измерении времени прохождения коротких лазерных импульсов до спутника и обратно. Основные этапы метода:

1. Формирование и посылка сигнала
 - Лазерный передатчик генерирует импульсы с частотой 300 Гц.
 - Импульсы направляются к спутнику через передающую оптику.
2. Прием отраженного сигнала
 - Отражатели на спутнике возвращают часть излучения.
 - Приемная система регистрирует отраженные импульсы.
3. Измерение временной задержки
 - Фиксируются моменты излучения (СТАРТ) и приема (СТОП).

- Дальность рассчитывается по формуле:

$$D = \frac{c \cdot \Delta t}{2} - \Delta D_k - \Delta D_a$$

где c – скорость света, ΔD_k – калибровочная поправка, ΔD_a – атмосферная поправка.

4. Калибровка системы

- Используется встроенный оптический эквивалент дальности (ОЭД).
- Атмосферные поправки вычисляются по метеоданным.

5. Селекция полезного сигнала

- Временная: Ожидание сигнала в прогнозируемом временном окне.
- Пространственная: Ограничение поля зрения приемника.
- Спектральная: Фильтрация фонового излучения.

6. Защита от помех

- Обтюратор блокирует приемник во время излучения.
- Синхронизация обеспечивается условием:

$$T_{изп} + T_{лп} = T_{упр.}$$

где $T_{изп}$ — задержка импульса запуска лазера (время между синхроимпульсом и командой на излучение), $T_{лп}$ — задержка излучения лазера (время между командой и фактическим излучением), $T_{упр.}$ — фиксированное упреждение, определяемое конструкцией обтюратора

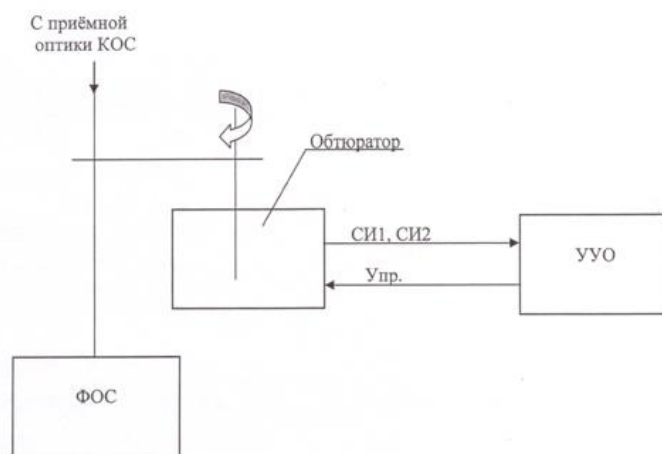


Рисунок 4. Схема включения обтюратора

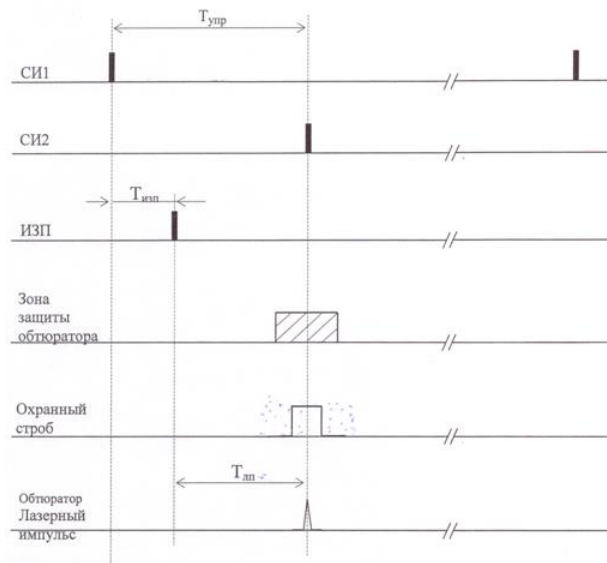


Рисунок 5. Диаграммы работы обтюлятора и схемы защиты ФОС от паразитной лазерной засветки

СИД-4ТМ (Система Измерения Дальности) представляет собой комплекс устройств, обеспечивающих точное измерение расстояния до объекта с использованием лазерного дальномера. Основные компоненты системы и их взаимодействие отражены в функциональной схеме (рис. 3)

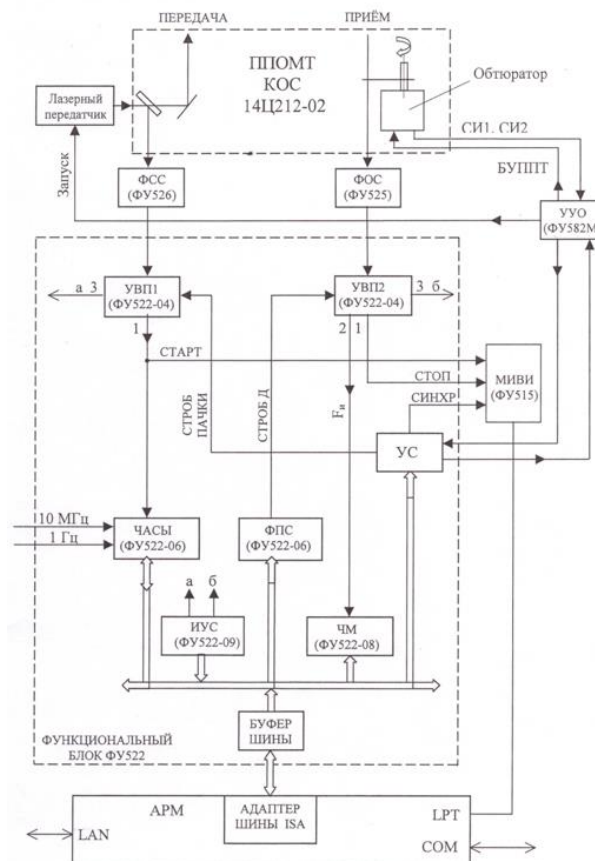


Рисунок 6. Функциональная схема СИД-4ТМ

Которая включает следующие ключевые элементы:

1. Лазерный передатчик (ФУ586,) – генерирует зондирующие импульсы с частотой 300 Гц. Запуск передатчика осуществляется импульсами «ИЗП», формируемыми УУО (Устройство Управления Обтюратором).
2. Обтюратор – защищает фотоприемник отраженного сигнала (ФОС) от паразитной засветки. Он представляет собой вращающийся диск с выступами, который синхронизируется с помощью синхроимпульсов «СИ1» и «СИ2». УУО регулирует задержку импульсов «ИЗП» для точного позиционирования лазерного импульса в центре защитного выступа.
3. Фотоприемники (ФОС – ФУ525, и ФСС – ФУ526Б) – детектируют отраженные и стартовые импульсы. ФСС фиксирует момент излучения лазера, а ФОС регистрирует отраженные сигналы.
4. Устройства временной привязки (УВП1 и УВП2) – обрабатывают сигналы от фотоприемников. УВП1 формирует стробируемые сигналы «СТАРТ», которые поступают в МИВИ (Многоканальный Измеритель Временных Интервалов, ФУ515) и на электронные часы. УВП2 аналогично обрабатывает сигналы «СТОП» от ФОС.
5. МИВИ – регистрирует временные интервалы между сигналами «СТАРТ» и «СТОП», что позволяет определить дальность до объекта. Результаты измерений передаются в АРМ (Автоматизированное Рабочее Место) для дальнейшей обработки.
6. Блок управления (БУППТ – ФУ582М) – содержит УУО и управляет работой обтюлятора и лазерного передатчика.
7. Устройство синхронизации (УС) – обеспечивает согласованную работу всех компонентов системы, включая формирование стробирующих импульсов и контроль временных задержек.
8. АРМ – выполняет внутрисеансную обработку данных, устраняет неоднозначность измерений, фильтрует шумы и сохраняет результаты для последующего анализа.

Система работает циклически: каждый цикл включает посылку пачки импульсов, прием отраженных сигналов и обработку данных. Для защиты от помех используются временная, пространственная и спектральная селекции.

Диаграмма работы СИД-4ТМ иллюстрирует временные соотношения сигналов и процессов, обеспечивающих измерение дальности с помощью лазерного дальномера. (рис. 4)

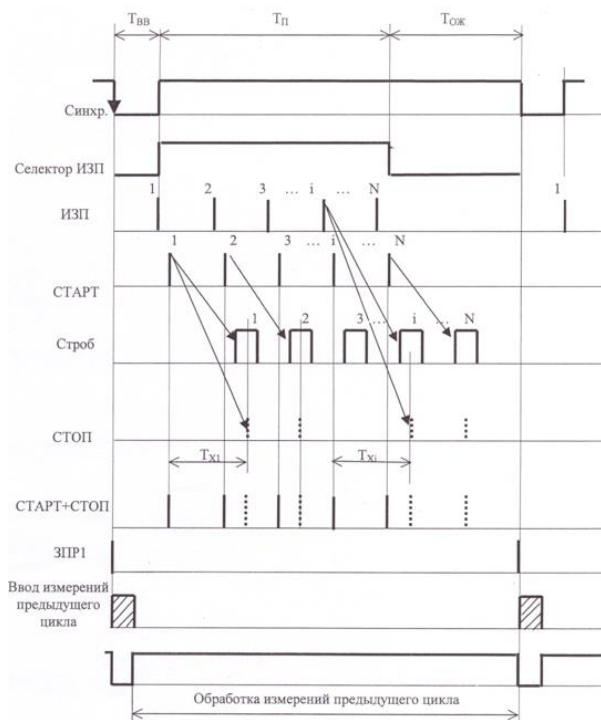


Рисунок 7. Диаграммы работы СИД-4ТМ

Основные этапы работы системы включают синхронизацию, генерацию импульсов, защиту фотоприемника и обработку сигналов.

1. Формирование синхроимпульсов

- Обтюратор генерирует синхроимпульсы «СИ1» и «СИ2»
- «СИ1» формируется с упреждением $T_{упр.}$ относительно центра защитного выступа диска обтюратора.
- «СИ2» соответствует моменту, когда защитный выступ находится на оптической оси фотоприемника (ФОС).

2. Запуск лазерного передатчика

- Устройство управления обтюратором (УУО) формирует импульсы запуска «ИЗП» с задержкой $T_{изп}$ относительно «СИ1».
- Лазерный передатчик излучает импульс с задержкой $T_{лп}$ после «ИЗП».
- Условие защиты ФОС: $T_{изп} + T_{лп} = T_{упр.}$, что обеспечивает попадание лазерного импульса в центр защитного выступа.

3. Защита фотоприемника

- УУО формирует охранный строб, который разрешает прохождение импульсов «ИЗП» только при совпадении фронта «СИ2» с длительностью строба.
- При отклонении скорости вращения диска или сбое синхронизации УУО блокирует запуск лазера.

4. Регистрация сигналов

- Фотоприемник стартового сигнала (ФСС) фиксирует момент излучения лазера и передает сигнал «СТАРТ» в УВП1.
- Отраженный сигнал регистрируется ФОС, преобразуется в «СТОП» и поступает в УВП2.
- МИВИ измеряет интервал между «СТАРТ» и «СТОП» для вычисления дальности.

5. Цикл измерений

- Работа системы разбита на циклы, включающие:
 - Обмен данными с АРМ ($T_{ВВ}$).
 - Посылку пачки зондирующих импульсов ($T_{П}$).
 - Ожидание отраженных сигналов ($T_{ОЖ}$).
- В конце цикла данные обрабатываются, а результаты передаются в вычислительную сеть.

Алгоритм разработанной программы вторичной обработки лазерной дальнометрии ИСЗ для контроля корректного функционирования КОС

1. Чтение входных данных

- Загрузка файла лазерных измерений (ii240617.dat)
 - Парсинг заголовка (первые 32 строки)
 - Извлечение временных меток и задержек сигнала
- Загрузка файла целеуказаний (990_250324_1954.ang)
 - Парсинг параметров орбиты и временных рядов

2. Предварительная обработка

- Конвертация задержек сигнала в расстояния:

$$R_i = \frac{\Delta t_i \cdot c}{2} - \Delta D_k - \Delta D_a$$

где

R_i – расстояние до спутника (м)

$c=299792458$ м/с – скорость света

Δt_i – задержка сигнала (нс)

ΔD_k – калибровочная поправка (из файла лазерных измерений)

ΔD_a – атмосферная поправка (из файла лазерных измерений)

3. Группировка данных (Full-rate → Normal-point)

- Разбиение на временные интервалы (по умолчанию 1 секунда)
- Для каждого интервала:

$$\Delta t = t_{\text{кон}} - t_{\text{нач}}$$

4. Медианная фильтрация выбросов

- Медиана группы:

$$\tilde{R}_k = \text{med}\{R_i | (t_i, R_i) \in G_k\}$$

- Медианное абсолютное отклонение (MAD):

$$MAD_k = 1,4826 \cdot \text{med}\{R_i | (t_i, R_i) \in G_k\}$$

- Критерий отсева выбросов:

$$G_k^{filtred} = \{(t_i, R_i) \in G_k | |R_i - \tilde{R}_k| \leq 3 \cdot MAD_k\}$$

5. Расчет нормальных точек NP

- Временная метка NP:

$$t_k^{NP} = med\{t_i | (t_i, R_i) \in G_k^{filtred}\}$$

- Значение дальности (медианное)

$$R_k^{NP} = med\{R_i | (t_i, R_i) \in G_k^{filtred}\}$$

6. Статистические характеристики

- Стандартное отклонение:

$$\sigma_k = \sqrt{\frac{1}{N_k^{valid} - 1} \sum_{(t_i, R_i) \in G_k^{filtred}} (R_i - R_k^{NP})^2}$$

- Количество точек:

$$N_k^{valid} = |G_k^{filtred}|$$

- Количество выбросов:

$$N_k^{outliers} = |G_k| - |G_k^{filtred}|$$

7. Статистические характеристики

- Линейная модель коррекции:

$$R_k^{corrected} = a \cdot R_k^{NP} + b$$

где коэффициенты a , b находятся методом наименьших квадратов:

$$\min_{a,b} \sum_{k=1}^K (a \cdot R_k^{NP} + b - R_k^{target})^2$$

8. Визуализация результатов

- График 1: Исходные данные vs нормальные точки:
- График 2: Распределение количества точек по интервалам:
- График 3: Сравнение с целеуказаниями:

9. Сохранение результатов

- Формирование NP-файла (normal_points.dat) с колонками:

Time(s) Distance(m) StdDev(m) NumPoints NumOutliers

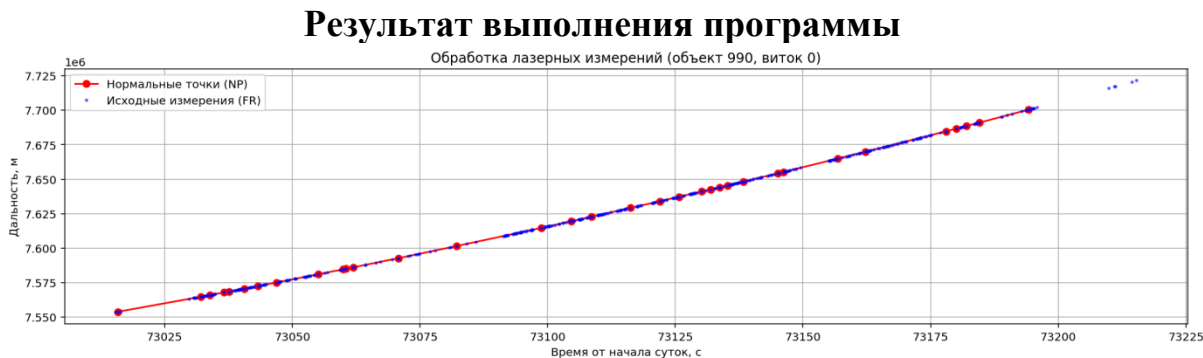


Рисунок 8. Дальность до спутника Lageos I



Рисунок 9. Количество измерений в каждом интервале (интервал 1 с)

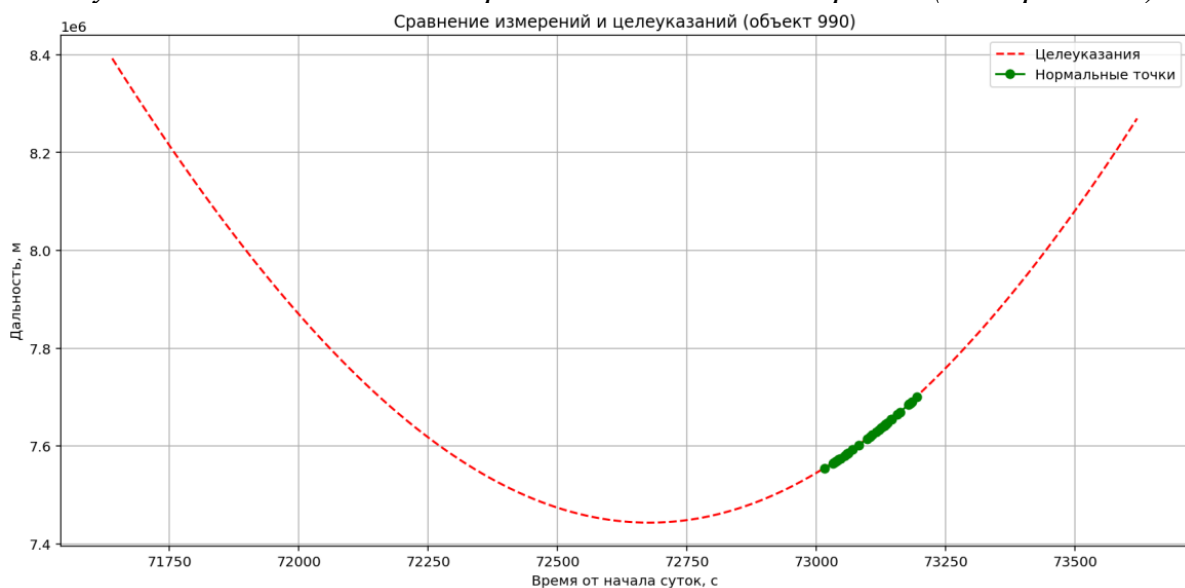


Рисунок 10. Сравнение измерений и целеуказаний

Заключение

Разработанная программа позволяет убедиться в том, что собранные данные корректны и подлежат дальнейшей обработке в основных областях применения результатов лазерной дальнометрии КА.

Список литературы

1. Козинцев В.И., Белов М.Л., Орлов В.М. и др. Основы импульсной лазерной локации: Учеб. Пособие для вузов; под ред. В.Н. Рождествина. — М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 512 с.: ис. — (Электроника).
2. ИБПА.464413.008РЭ СИД-4ТМ Руководство по эксплуатации

Измерение параметров сигнала низкоорбитальных спутников при помощи макета двухканального когерентного приемника на основе HackRF One

Продан П.Е.¹, Книжин С.И.^{1,2}, Котов Д.В.¹, Коваленко Д.Д.¹

1 - Иркутский государственный университет, Иркутск, Россия

2 - Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

prodanpavel@gmail.com, sergeiknizhin@mail.ru, kdv1612@gmail.com, faceit.dmitry@mail.com

В работе рассматривается устройство макета двухканального когерентного приемника сигналов низкоорбитальных спутников на частотах 150 и 400 МГц на основе платы HackRF One. Выполнен анализ влияния малошумящих усилителей и полосовых фильтров на качество принимаемого сигнала на частоте 150 МГц.

Введение

Диагностика ионосферной плазмы с использованием сигналов низкоорбитальных спутников является важной задачей в исследованиях околоземной плазмы. Принимаемые характеристики сигналов на частотах 150 и 400 МГц, излучаемые бортовыми передатчиками спутников [1], позволяют восстанавливать параметры ионосферы, такие как электронная концентрация и диэлектрическая проницаемость [2]. Для когерентного приема этих сигналов разработан макет двухканального приемника на базе SDR-технологии (программно-определяемое радио) с использованием плат HackRF One. В качестве приемной антенны была использована турникетная антенна, настроенная на частоту 150 и 400 МГц.

Элементы макета приемника

Макет включает в себя следующие компоненты: 2 платы HackRF One российского производства с диапазоном частот 1 МГц – 6 ГГц, частотой дискретизации 8–20 Msps и полосой пропускания 20 МГц [3]; турникетная антенна с KCB < 1,5; малошумящие усилители (МШУ) LNA-144 и LNA-433 с усилением 26 и 22 дБ соответственно; полосовые фильтры (FBP-155, FBP-433) .

Для создания макета приемника необходимо было синхронизировать две платы HackRF One для реализации двух каналов приема на частотах 150 и 400 МГц. На рисунке 1 представлена схема подключения и обеспечения когерентности приема сигнала.

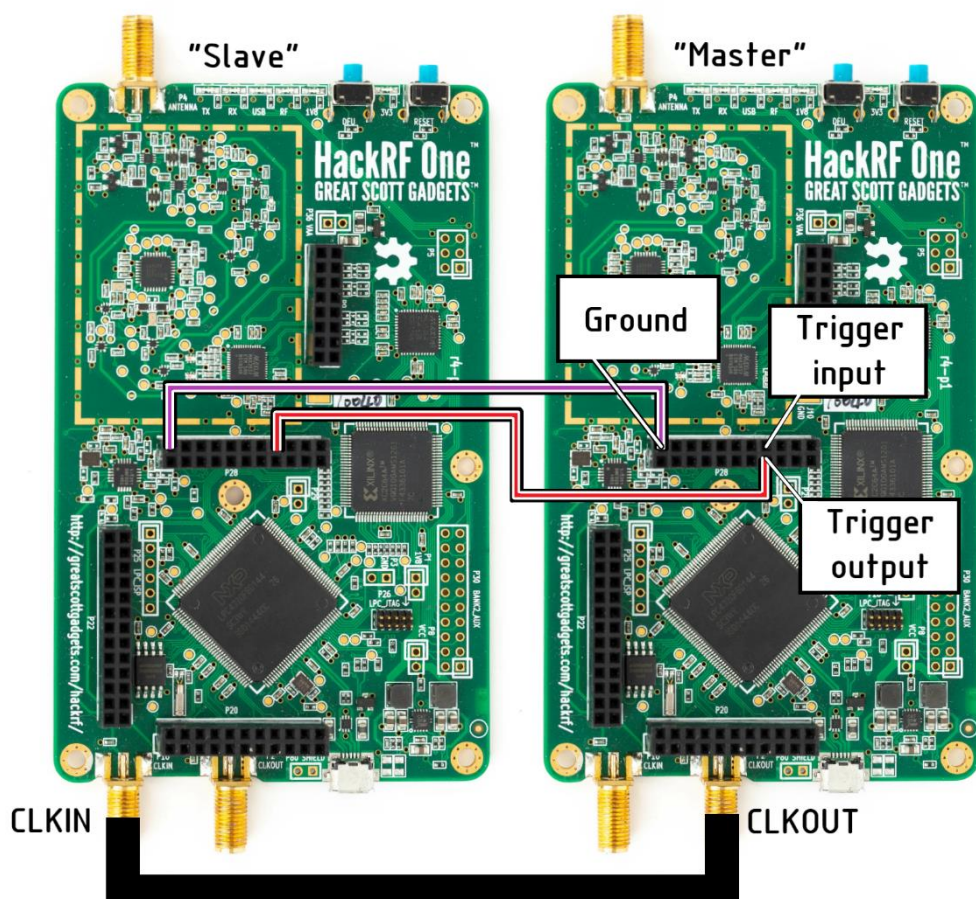


Рисунок 1. Схема синхронизации двух HackRF One.

Для когерентной регистрации используется общая опорная частота 10 МГц [4]. Платы синхронизируются через CLKIN/CLKOUT, а одновременный старт записи обеспечивается триггерным сигналом [5] и Bash-скриптом.

На рисунке 2 представлена диаграмма направленности для турникетной антенны.

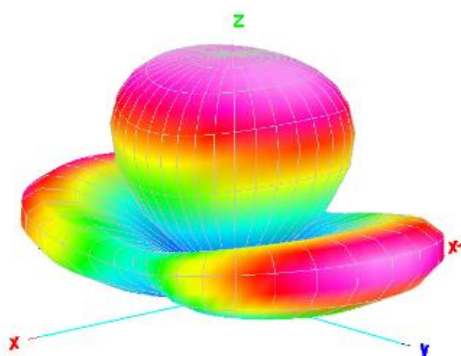


Рисунок 2. Диаграмма направленности турникетной антенны

Антенна обеспечивает КСВ $< 1,5$ и минимальную реактивную составляющую входного сопротивления антенны. Из диаграммы направленности виден широкий угол приема, что критично для отслеживания низкоорбитальных спутников.

Проверка влияния МШУ и полосовых фильтров на принимаемый сигнал

Для проверки влияния дополнительных компонентов на принимаемый сигнал был проведен эксперимент, который можно разделить на четыре этапа. На первом этапе сигнал от вспомогательного источника, генерируемый HackRF One, принимался макетом приемника, состоящим из двух синхронизированных каналов на 150 и 400 МГц. На втором этапе к исходному макету для обоих каналов были добавлены полосовые фильтры. На третьем этапе добавлялись только малошумящие усилители без полосовых фильтров. На четвертом этапе измерения проводились с добавлением малошумящих усилителей и полосовых фильтров. Параметры МШУ и фильтров представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1

Параметры использованных МШУ

Параметры	LNA-144	LNA-433
Рабочее напряжение	3 – 5 В	3 – 5 В
Рабочий ток	50 – 100 мА	50 – 100 мА
Рабочая частота	135 МГц - 175 МГц	380 МГц - 480 МГц
Усиление	26 дБ	22 дБ
Коэффициент шума	0,5 дБ	0,5 дБ

Таблица 2

Параметры полосовых фильтров.

Параметры	FBR-155	FBR-433
Центральная частота	155 МГц	433 МГц
Потери центральной частоты	до 2,5 дБ	3,5 дБ
Полоса пропускания 3 дБ	134 - 179 МГц	390 - 470 МГц
Максимальная мощность нагрузки	3 Вт (35 дБм)	3 Вт (35 дБм)

На каждом этапе эксперимента осуществлялся прием сигнала от источника излучения, который всегда располагается на одинаковом расстоянии от антенны.

На рисунке 3 изображен результат первого этапа эксперимента для канала 150 МГц. Сигнал излучался на частоте 149.8 МГц. Уровень шума на данном этапе составил примерно (-90) дБм, а мощность сигнала примерно (-82,7) дБм.

На рисунках 3-6 представлены не мгновенные снимки спектра, а их максимальное значение в каждой точке.

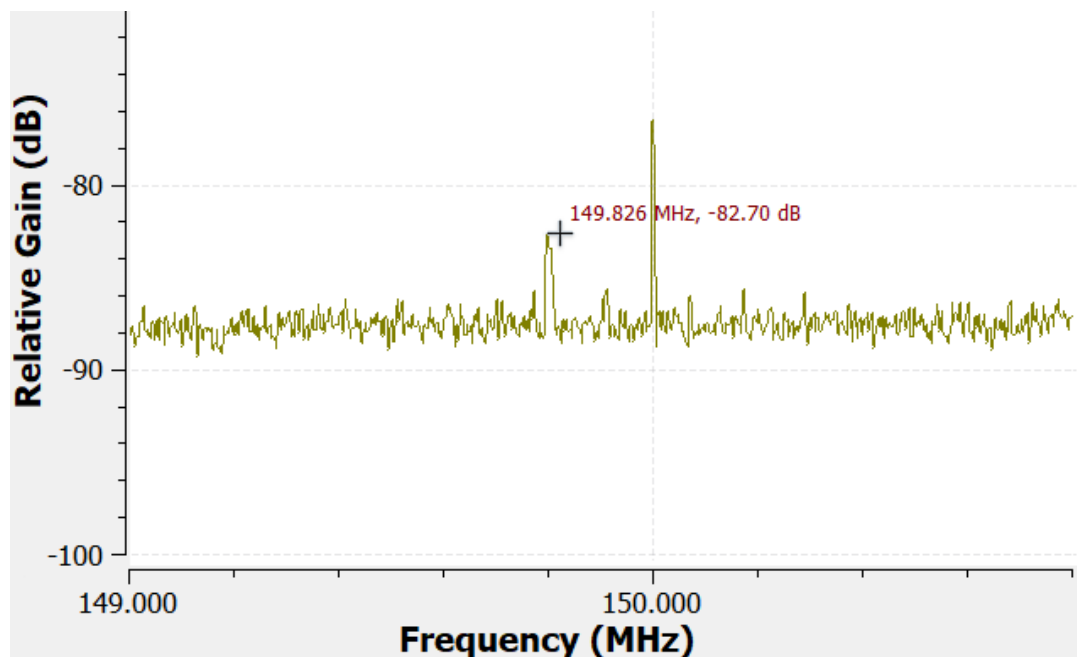


Рисунок 3. Спектр сигнала на первом этапе эксперимента (150 МГц)

На рисунке 4 изображен результат второго этапа эксперимента для канала 150 МГц. Уровень шума на данном этапе составил примерно (-90) дБм, а мощность сигнала примерно – (-83,6) дБм. Таким образом, ослабление сигнала составляет порядка 1 дБ.

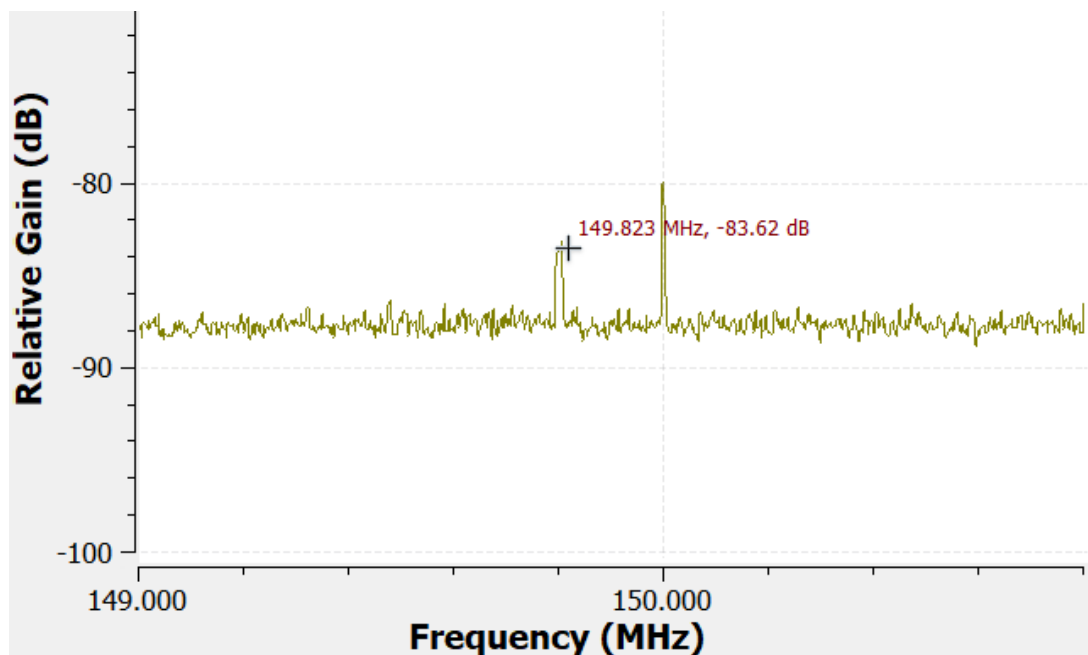


Рисунок 4. Спектр сигнала на втором этапе эксперимента (150 МГц)

На рисунке 5 изображен результат третьего этапа эксперимента для канала 150 МГц. Уровень шума на данном этапе составил примерно (-74,5) дБм, а мощность сигнала примерно – (-57,3) дБм. Таким образом, усиление сигнала относительно первого этапа составляет 25,4 дБ.

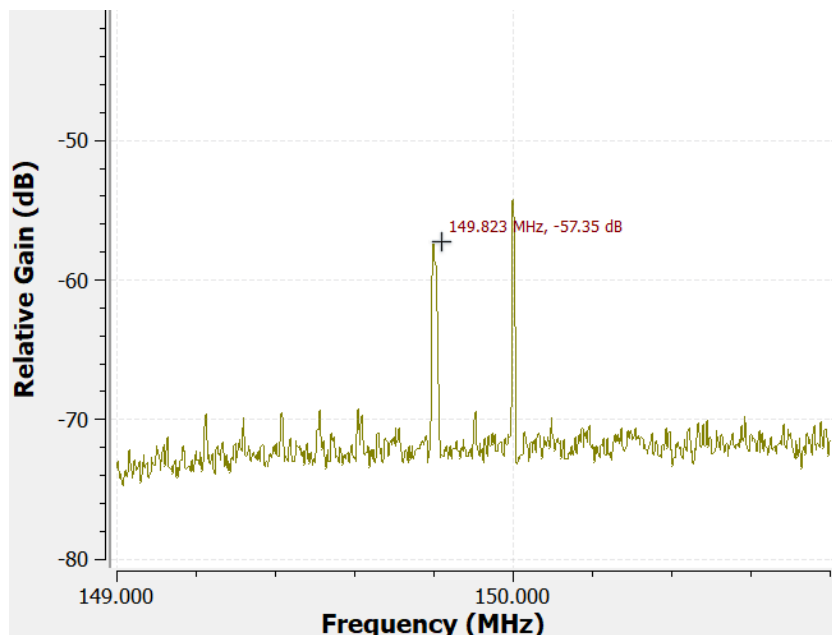


Рисунок 5. Спектр сигнала на третьем этапе эксперимента (150 МГц)

На рисунке 6 изображен результат четвертого этапа эксперимента для канала 150 МГц. Уровень шума на данном этапе составил примерно (-73,8) дБм, а мощность сигнала примерно – (-58,3) дБм. Таким образом, ослабление сигнала относительно третьего этапа составляет порядка 1 дБ, что аналогично результату, полученному на втором.

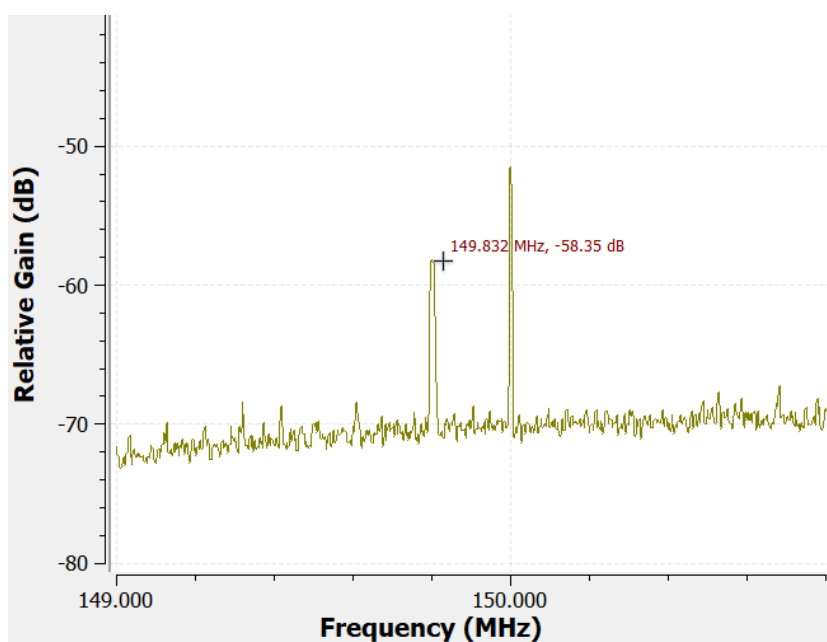


Рисунок 6. Спектр сигнала на четвертом этапе эксперимента (150 МГц)

Таким образом, полученные результаты подтверждают заявленные производителем характеристики МШУ и фильтров для полосы 150 МГц. Для частоты 400 МГц были получены аналогичные данные, доказывающие соответствие параметров. Все отличия незначительны и могут приниматься как погрешность.

Следовательно, данные компоненты удовлетворяют поставленным требованиям и являются пригодными для использования в задачах приема сигналов с низкоорбитальных спутников.

Заключение

Разработанный макет двухканального приемника на частотах 150 и 400 МГц на базе платы HackRF One обеспечивает когерентный прием сигналов. Данный макет может быть использован для приема сигналов от низкоорбитальных спутников с частотами излучения на 150 и 400 МГц.

Благодарности

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (Задание № FZZE-2023-0004).

Список литературы

1. Бочаров В.С., Генералов А.Г., Гаджиев Э.В. Разработка модели двухчастотной микрополосковой антенны для перспективного применения на космическом аппарате «Ионосфера» // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2014. Т. 141. № 4. С. 23– 26.
2. Куницын В. Е. Томография ионосферы / В. Е. Куницын, Е. Д. Терещенко. - М: Наука, 1991. -176 с.
3. HackRF One производство Россия // ELRON – Вычислительные платформы: сайт. – URL: <https://elron.tech/russian-hack-rf-one/> (дата обращения: 11.05.2025).
4. External Clock Interface (CLKIN and CLKOUT) // HackRF One documentation: сайт. – URL: https://hackrf.readthedocs.io/en/latest/external_clock_interface.html (дата обращения: 11.05.2025).
5. Hardware (CPLD-based) synchronisation of multiple HackRFs // GitHub: сайт. – URL: <https://github.com/greatscottgadgets/hackrf/pull/381> (дата обращения: 11.05.2025).
6. ИОНОЗОНД // Space Research Institute - IKI: сайт. – URL: <https://iki.cosmos.ru/research/missions/ionozond> (дата обращения: 11.05.2025).

Программное обеспечение плазменного эксперимента

Ригин А.В., Строкин Н.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

arseniy.rigin@mail.ru, strokin85@inbox.ru

Для оптимизации процесса обработки данных экспериментов по исследованию плазмы разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях и в сепарирующем пространстве плазмооптического масс-сепаратора разработан и протестирован комплекс программ для ЭВМ. Программы обеспечивают расчет и построение распределений ионов по энергии, плотности ионов, определение массового и зарядового состава потока ионов и широкий комплекс характеристик электростатических колебаний разрядного тока и тока ионов.

Введение

Проведение и развитие работ по плазмооптической масс-сепарации [1-5] требует исследования всех элементов плазмооптического масс-сепаратора (ПОМС) и процессов, сопровождающих разделение по массам. Одним из ключевых блоков ПОМС является источник многокомпонентного потока ионов – плазменный ускоритель с анодным слоем (УАС), разряд в котором горит в скрещенных электрическом и магнитном полях ($E \times B$ разряд). Рабочим телом здесь является газовая смесь, включающая как сравнительно легко ионизируемые газы, например, ксенон с потенциалом ионизации $\varphi_{XeI} \approx 12,1$ эВ, так и трудно ионизируемые, например, неон с $\varphi_{NeI} \approx 20,2$ эВ, что близко к потенциалу двукратной ионизации ксенона $\varphi_{XeII} \approx 21,2$ эВ. А потенциалы второй ионизации металлов меньше не только первого потенциала ионизации неона, но и некоторых других газов. Температура электронов в $E \times B$ разряде $T_e \sim 30$ эВ, поэтому в многокомпонентной плазме УАС присутствуют не только однозарядные ионы.

Плазма УАС неустойчива относительно раскачки электростатических колебаний в диапазоне частот от единиц кГц до сотен МГц [6-9]. Стохастические электрические поля приводят к нестационарности разрядного тока и модификации функций распределения ионов. Что, в свою очередь, ухудшит эффективность и качество плазмооптического разделения многокомпонентных смесей ионов.

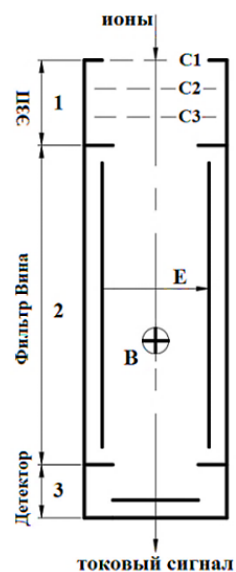
Таким образом, экспериментальные исследования процесса ПОМС должны, в том числе, включать определение параметров многокомпонентного по массам и зарядам потока ионов и характеристик электростатических плазменных колебаний. В процессе подобных измерений получают большой объем данных, которые при оптимальном подходе, необходимо обрабатывать, используя программы для ЭВМ. В данной работе приводится описание трех из таких программ,

предназначенных, адаптированных к конкретным анализаторам и датчикам сигналов, выполненным в соответствии с требованиями к ПОМС.

Программа обработки данных анализатора ионов по энергии, массе и заряду (АИЭМЗ)

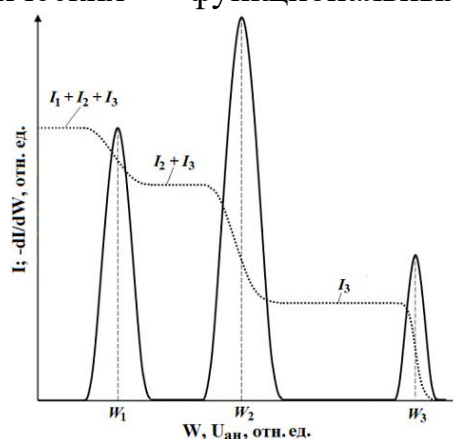
Программа предназначена для работы с данными, получаемыми с помощью анализатора «ТАНДЕМ» [10], который представляет собой совокупность последовательно соединенных энергоанализатора с задерживающим потенциалом (ЭЗП), линейного фильтра Вина (ФВ) и детектора ионов (рис. 1). Рабочим является и вариант, когда ЭЗП и ФВ меняют местами. Устройство обеспечивает анализ ионов по энергиям, массам и зарядам.

Рисунок 1. Схема анализатора «ТАНДЕМ»



На рис. 2 приведен пример тока I с детектора при регистрации трехкомпонентного потока ионов, имеющих широкий спектр по энергии W , с массами m_1 , m_2 и m_3 при фиксированной настройке ФВ и изменении потенциала $U_{ан}$ анализирующей сетки (СЗ) ЭЗП от нуля до величины $eU_{ан. max} \geq W_{max}$, обеспечивающей задержание всех ионов налетающего потока (W_{max} – максимальная энергия ионов). При работе с файлом данных программа (язык программирования LabVIEW 2013) последовательно выполняет расчет масс m_k и разрешающей способности по массам ФВ, настроенного на дрейфовую скорость v_0 иона в пучке (энергия W_0), масса которого прогнозируемая, поиск пиков на кривой задержки ЭЗП аппроксимацию и сглаживание графических функциональных зависимостей.

Рисунок. 2. Кривая задержки ЭЗП (точки) и спектры ионов по энергии для ионов трех масс



Массы ионов «извлекаются» из массива данных измерений и формулы $m_k = 2W_k \frac{B^2}{E^2}$,

сопоставляются с параметрами ионов из библиотеки данных – производится идентификация ионов (здесь E и B – напряженность электрического поля и индукция магнитного поля в ФВ). Спектры по массам строятся и визуализируются (рис. 2). На рис. 3 и в табл. 1 дан пример определения массового состава в потоке ионов.

На втором этапе обрабатываются данные, полученные при последовательной настройке ФВ на дрейфовые скорости (энергии), соответствующие массам, определенным на первом этапе, и сканировании потока ионов электрическим полем ЭЗП. Получаются зависимости, подобные приведенным на рис. 2, в которых максимальная кратность заряда будет равна числу ступеней на кривой задержки.

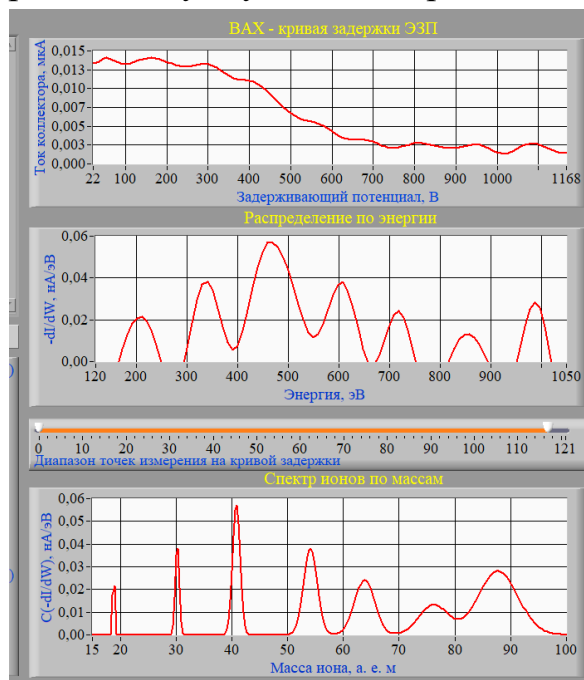


Рисунок 3. Пример выходных данных, генерируемых программой при анализе по массам

Таблица 1

W , эВ	Масса, а. е. м.	Ион
212	18,8	Ne ⁺
341	30,3	N ₂ ⁺
460	40,8	Ar ⁺
609	54,2	Fe ⁺
719	63,8	Cu ⁺
858	76,2	Kr ⁺
988	87,7	Kr ⁺

При $eU_{an} \approx W_1/3 + \Delta W$ из апертуры ФВ уйдут ионы с $q = 3$; когда $eU_{an} \approx W_1/2 + \Delta W$ – уйдут ионы с зарядом $q = 2$; если будет достигнуто значение $eU_{an} \approx W_1 + \Delta W$ – и ионы с $q = 1$ выйдут из апертуры ФВ (W_1 – энергия однократно заряженного иона). Амплитуда ступенек тока пропорциональна плотности ионов в потоке с разной кратностью заряда. Сопоставление обнаруженных в измерениях зарядов ионов с одно-, двух- и трехзарядными ионами из библиотеки данных позволяет идентифицировать заряд иона. На рис. 4 и в табл. 2 дан пример определения зарядового состава в потоке ионов.

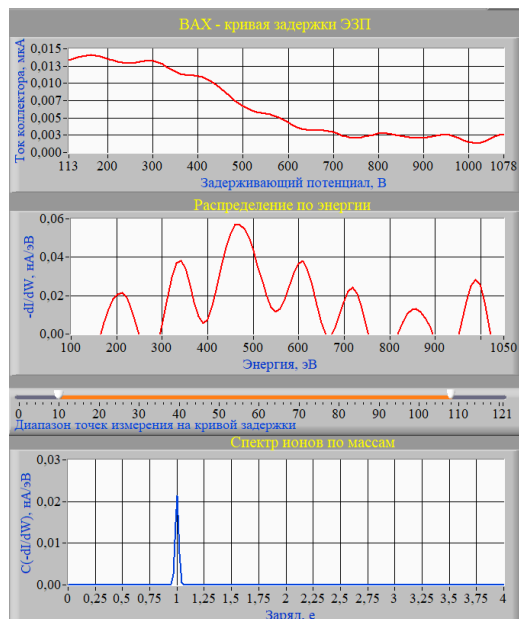


Рисунок 4. Пример выходных данных, генерируемых программой при анализе по зарядам

Таблица 2

W , эВ	Заряд q , e	Ион
201	1	Ne ⁺
490	1	Ar ⁺
618	1	Fe ⁺
834	3	Kr ⁺

Программа для совместного анализа двух сигналов сложной формы «Сигнал/АЧХ-2»

Программа (язык программирования LabVIEW 2013) предназначена для обеспечения работы с файлами данных, содержащими информацию о форме, амплитуде и частоте электрических сигналов с индукционного датчика разрядного тока в УАС и коллектора тока ионов в ЭЗП. Программа использовалась для совместного анализа двух сигналов сложной формы при исследовании взаимосвязи колебаний, возбуждаемых в плазме $E \times B$ разряда в процессе зажигания и в неустойчивых режимах горения. Оба сигнала регистрировались одновременно на разных каналах цифрового осциллографа с разрешением по частоте 1 кГц или 40 кГц. Диапазон частот сигналов 25 кГц – 30 МГц, в котором датчики обоих сигналов не искажали форму и частотный диапазон регистрируемых колебаний.

Переменная составляющая разрядного тока изучалась по производной магнитного потока (разрядного тока), которая измерялась с помощью индукционного датчика – пояса Роговского без интегрирующей цепочки, охватывающего вблизи анода цепь питания анод-катод УАС. Полагалось, что частоты колебаний разрядного тока и его производной – одинаковые.

При работе с ионным током на осциллограф выводилась только переменная составляющая тока с коллектора ионов ЭЗП, когда на разделительной сетке потенциал был равен нулю, а на анализирующей $U_{ан} = -20$ В.

Программа формирует файл данных токовых сигналов, визуализирует временные зависимости сигналов, проводит Фурье-анализ сигналов, рассчитывает амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) двух сигналов и визуализирует их, осуществляет сравнение от двух до пяти сигналов и АЧХ на одной координатной плоскости. На рис. 5 показаны сигналы и АЧХ с двух датчиков; на рис. 6 – сравнение АЧХ тех же сигналов.

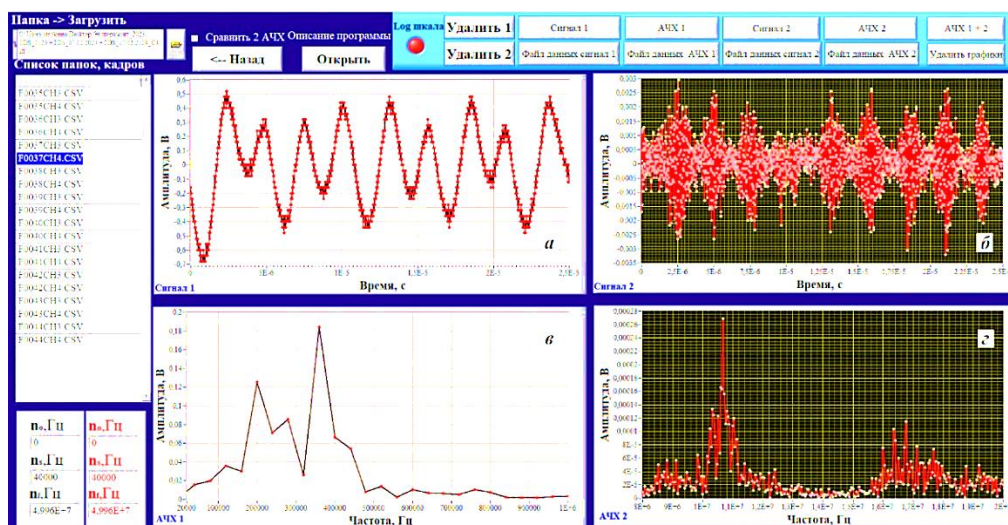


Рисунок 5. Сигналы с индукционного (а) и ионного (б) датчиков, АЧХ производной разрядного тока (в) и тока ионов (г)

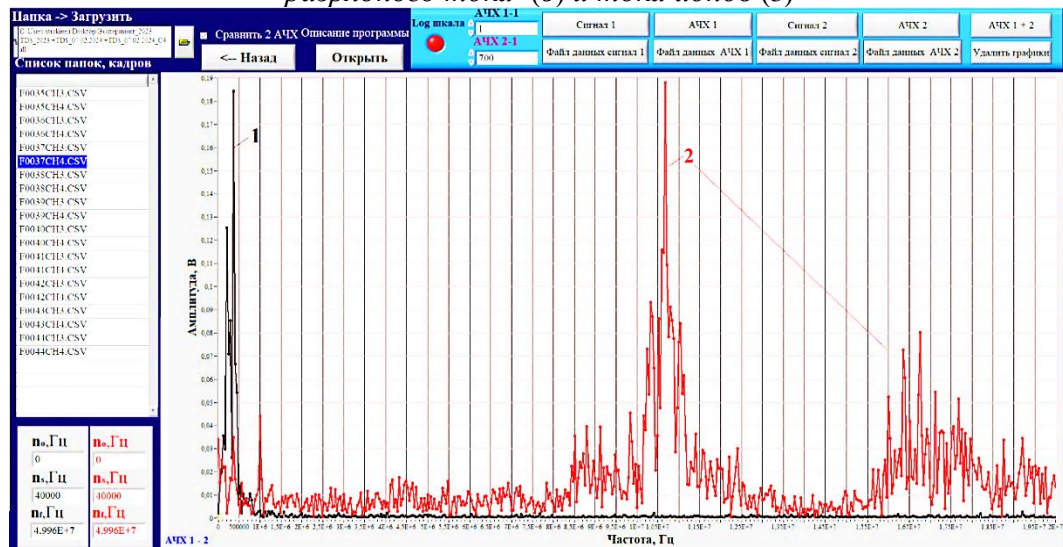


Рисунок 6. АЧХ производной разрядного тока (1) и тока ионов (2)

Программа для комплексной обработки нестационарных сигналов

Данные результатов измерений электростатических колебаний в плазме, характеризуют, в основном, нестационарные, нелинейные процессы. В этих условиях спектральный анализ Фурье имеет ограниченное применение, так как в нем используется линейная суперпозиция тригонометрических функций – для него, строго говоря, система должна быть линейной, а данные периодическими. Для моделирования деформированных волновых профилей здесь вводятся дополнительные гармонические составляющие, следствием чего может быть ошибочное распределение энергии по частоте [11].

В работе [12] для анализа сигналов, связанных с колебаниями плазмы плазменного ускорителя, опробован метод эмпирической модовой декомпозиции (ЭМД) – метод Хуанга, в котором зависящий от времени ряд данных разлагается на конечную сумму собственных (внутренних) модовых функций (СМФ; пример дан на рис. 7). Моды определяются из временного поведения изучаемого сигнала, что позволяет, применяя преобразование Гильберта, вычислять изменения мгновенной частоты каждой моды и энергетический спектр, зависящий от времени. Поскольку декомпозиция основана на локальных характеристиках данных, она применима к нелинейным и нестационарным процессам без ограничений. Метод Гильберта-Хуанга является адаптивным к характеру данных: основывается на данных и выводится из них [13].

Мы посчитали необходимым дополнить и верифицировать анализ электростатических колебаний, проведенный Фурье-методом с помощью

программы «Сигнал/АЧХ-2», применив к нашим данным метод преобразования Гильберта-Хуанга.

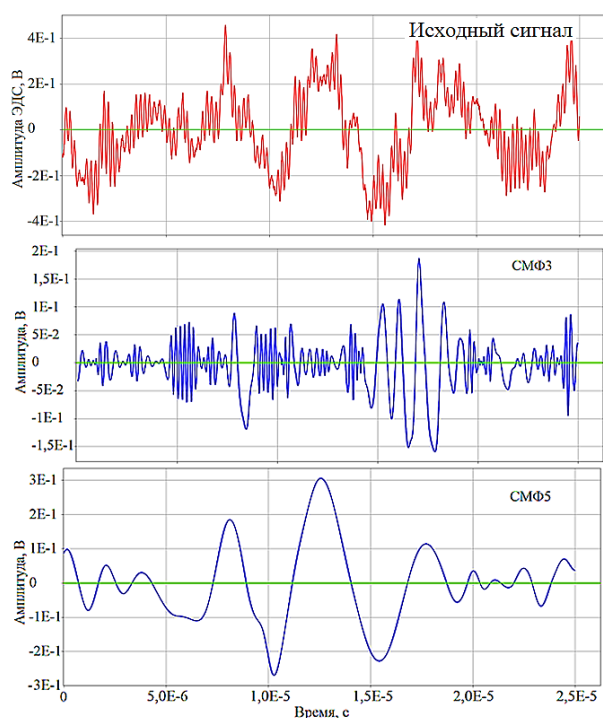


Рисунок 7. Исходный сигнал с индукционного датчика, третья и пятая СМФ; $E \times B$ разряд, криптон, разрядное напряжение $U_d \approx 1100$ В, радиальная компонента индукции магнитного поля на аноде $B_{rA} \approx 205$ Гс.

«Программа для комплексной обработки нестационарных сигналов» (язык программирования Python 3.9) предназначена для работы с файлами, содержащими данные о форме, амплитуде и частоте нестационарных электрических сигналов при исследовании колебаний,

возбуждаемых в плазме $E \times B$ разряда. В программе осуществляется анализ Фурье и Гильберта-Хуанга сигналов, рассчитываются и визуализируются поведение СМФ (мгновенные амплитуды и частоты выделенных диапазонов) во времени (рис. 8), амплитудно-частотные характеристики как по всему массиву данных, так и по выбранному интервалу исходных значений, распределения плотности мощности колебаний ионов по частоте (рис. 9), энергия, аккумулируемая в колебаниях, первообразная сигнала по его производной. Выполняется кратковременное преобразование Фурье (STFT – short-time Fourier transform) для получения частотно-временного представления локальных участков сигнала по мере его изменения во времени. Для каждой СМФ есть возможность определить маргинальный спектр – «амплитудно-частотную характеристику», что позволяет увидеть частотную зависимость выделенных, более узких, чем полный спектр, полос колебаний от плазменных и внешних параметров разряда.

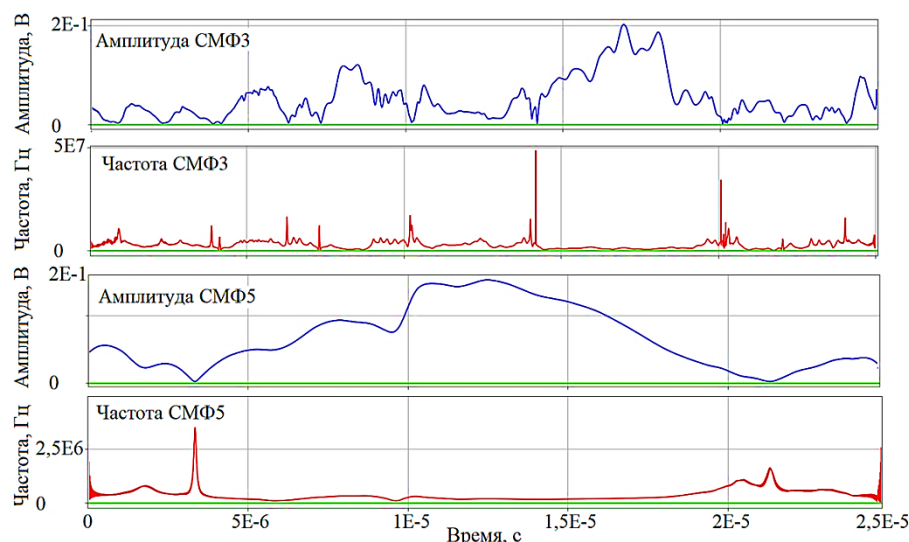


Рисунок 8.
Мгновенные
амплитуды и
частоты СМФ3
и СМФ5.
Индукционный
датчик; $U_d \approx 1100$ В,
 $B_{rA} \approx 205$ Гс.

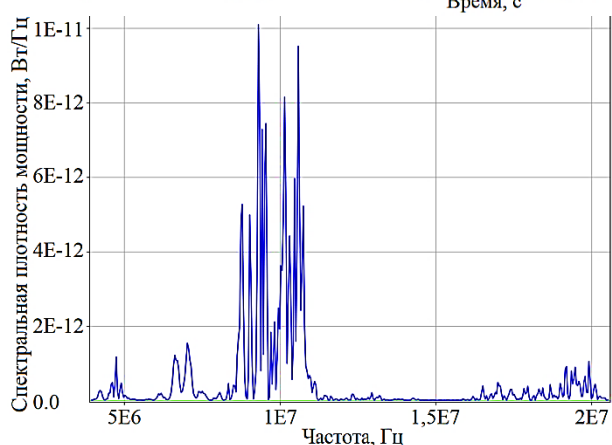


Рисунок. 9. Распределение плотности
мощности по частоте (фрагмент) для
колебаний тока ионов; криптон, $U_d \approx 1100$
В,
 $B_{rA} \approx 205$ Гс.

Закключение

Расчет в программе АИЭМЗ позволил выявить в экспериментальных данных «из $E \times B$ разряда» на смеси азота и инертных газов (неон, аргон, криптон) одно-, двух- и трехкратно заряженные ионы железа, ионы азота как атомарные, так и молекулярные. Источником ионов железа определен катод УАС, подвергающийся ионной бомбардировке. Отсутствие двукратно заряженных ионов неона позволило получить верхнюю оценку на температуру электронов в плазме $T_e \leq 40,67$ эВ, где $40,67$ эВ = φ_2 – второй потенциал ионизации неона. Выявлена сложность в определении кратности заряда (1 или 2) у аргона ($M_{Ar} \approx 40$ а.е.м.) и криптона ($M_{Kr} \approx 84$ а.е.м.) – ионов, имеющих кратные массы. Для надежной идентификации таких ионов нужен дополнительный анализ вероятности ионизации.

В плазме самостоятельного $E \times B$ разряда с переменным магнитным полем при обработке данных с помощью программ «Сигнал/АЧХ-2» и «Программа для комплексной обработки нестационарных сигналов» определено, что колебания, в основном, имеют кластерный характер. Индикаторами изменения режима раскачки колебаний при изменении B_{rA} выступают мощные пики на выделенных частотах, «броски» АЧХ в сторону

более высоких или низких частот. При $205 \leq B_{rA} \leq 660$ Гс определены отличия между АЧХ разрядного тока и тока ионов: это меньшие \sim в 5 раз частоты колебаний разрядного тока по отношению к току ионов для частот, имеющих максимальную амплитуду (f_{max}), резкий спад для АЧХ разрядного тока, но резкий рост f_{max} для АЧХ тока ионов, когда B_{rA} становится больше 820 Гс [14].

Список литературы

1. Морозов А.И. Осесимметричные плазмооптические масс-сепараторы / Морозов А.И., Савельев В.В. // Физика плазмы. 2005. – Т. 31. №5. – С. 458-465.
2. Морозов А.И. О сепарации по массам квазинейтральных пучков / Морозов А.И., Семашко Н.Н. // Письма в ЖТФ. 2002. – Т. 28. №24. – С. 63-66.
3. Бардаков В.М. Масс-сепарация ионов кольцевого плазменного потока / Бардаков В.М., Кичигин Г.Н., Строкин Н.А. // Письма в ЖТФ. 2010. Т. 36. №4. – С. 75-80.
4. Bardakov V.M. Advances and problems in plasma-optical mass-separation / Bardakov V.M., Ivanov S.D., Strokin N.A. // Phys. Plasmas. 2014. V. 21. No. 3. – 033505.
5. Strokin N.A. Development of Idea of Plasma-Optical Mass Separation / Strokin N.A., and Bardakov V.M. // Plasma Physics Reports. 2019. – V. 45. No. 1. – P. 46–56.
6. Lashmore-Davies C.N. Electrostatic instabilities driven by an electric current perpendicular to a magnetic field / Lashmore-Davies C.N., Martin T.J. // Nuclear Fusion. 1973. – V. 13. No. 2. – P. 193-203.
7. Choueiri E.Y. Plasma oscillations in Hall thrusters // Phys. Plasmas. 2001. – V. 8. No. 4. – P. 1411-1426.
8. Smolyakov A.I. Fluid theory and simulations of instabilities, turbulent transport and coherent structures in partially-magnetized plasmas of $E \times B$ discharges / Smolyakov A.I., Chapurin O., Frias W., Koshkarov O., Romadanov I., Tang T., Umansky M., Raitses Y., Kaganovich I.D. and Lakhin V.P. // Plasma Phys. Control. Fusion. 2017. – V. 59. – 014041.
9. Boeuf J.-P. Physics and instabilities of low-temperature $E \times B$ plasmas for spacecraft propulsion and other applications / Boeuf J.-P., Smolyakov A. // Phys. Plasmas. 2023. – V. 30. – 050901.
10. Строкин Н.А. Способ анализа ионов по энергиям, массам и зарядам и устройство для его осуществления / Строкин Н.А., Нгуен Тхе Тханг, Казанцев А.В., Бардаков В.М. // Патент РФ №2708637. Оpubл. 10.12.2019. – Бюл. №34.
11. Huang N.E. The empirical mode decomposition and the Hilbert spectrum for nonlinear and non-stationary time series analysis/ Huang N.E., Shen Z., Long S.R., Wu M.C., Shih H.H., Zheng Q., Yen N.-C., Tung C.C., and Liu H.H. // Proc. R. Soc. Lond. A. 1998. –V. 454. – P. 903-995.
12. Kurzyňa J. Spectral analysis of Hall-effect thruster plasma oscillations based on the empirical mode decomposition / Kurzyňa J., Mazouffre S., Lazurenko A., Albaredo L., Bonhomme G., Makowski K., Dudeck M., Peradzynski Z. // Phys. Plasmas. 2005. – V. 12. – 123506.
13. Huang N.E. A Review on Hilbert-Huang transform: method and its applications to geophysical studies / Huang N.E., and Wu Z. // Rev. Geophys. 2008. – V. 46. – RG2006.
14. Strokin N.A. / Strokin N.A., and Rigin A.V. Influence of Magnetic Field on Spectra of Electrostatic Oscillations in the Plasma of the $E \times B$ Discharge // Plasma Phys. Rep. 2025. – V. 51. No. 1. – P. 36-48.

Проект: Мониторинг основных физических параметров линейно-аппаратных залов сетевого узла связи № 12800

Собенников О.В., Дмитриев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет

Иркутск, Россия

Sobennikov_o@mail.ru; dmtaa77fti@gmail.com

В условиях стремительного роста цифрового трафика и требований к надежности инфраструктуры, ПАО «Ростелеком» активно оптимизирует свою сетевую архитектуру. Компания внедряет инновационные решения, направленные на повышение эффективности, отказоустойчивости и экономической целесообразности эксплуатации магистральных узлов связи. В данной статье рассматривается необходимость расширения возможностей существующей системы мониторинга основных параметров жизнеобеспечения объекта связи, что позволит минимизировать или полностью исключить необходимость постоянного присутствия обслуживающего персонала на сетевом узле связи №12800.

Введение

Эволюция магистральных сетей ПАО «Ростелеком» отражает развитие телекоммуникационной инфраструктуры России, начиная с советского периода до современных цифровых технологий. ПАО «Ростелеком» — крупнейший в России интегрированный провайдер цифровых услуг и решений, который присутствует во всех сегментах рынка и охватывает миллионы домохозяйств, государственных и частных организаций.

Компания занимает лидирующие позиции на рынке услуг высокоскоростного доступа в интернет и платного телевидения. Количество клиентов услуг доступа в интернет с использованием оптических технологий составляет около 11 млн, платного ТВ «Ростелекома» — 11 млн пользователей, из них свыше 6,4 млн — IPTV.

«Ростелеком» является лидером рынка телекоммуникационных услуг для органов государственной власти России и корпоративных пользователей всех уровней.

Компания — признанный технологический лидер в инновационных решениях в области электронного правительства, кибербезопасности, дата-центров и облачных вычислений, биометрии, здравоохранения, образования, жилищно-коммунальных услуг.

Существующая система мониторинга не получает данные о наличии электропитания на вводах по отдельности. Информация есть только о наличии напряжения на общей шине щита распределения нагрузки.

Полностью отсутствует информация о состоянии дизель-генераторной установки (ДГУ).

Нет выхода сигнала «Авария» с климатической системы аппаратных залов.

Технико-экономическое обоснование нецелесообразности содержания обслуживающего персонала на сетевом узле связи №12800

Технические аспекты

Узел связи оснащен SDN (Soft-Defined Networking) и NFV (Network Functions Virtualization), что позволяет управлять оборудованием удаленно. Система мониторинга Zabbix отслеживает состояние сети в реальном времени. Автоматическое восстановление (Self-Healing Networks)- при аварии система переключает трафик на резервные линии без вмешательства человека.

Высокая надежность оборудования. Современные телекоммуникационные платформы (Huawei, Nokia) имеют: резервирование питания. Отказоустойчивые архитектуры(1+1,N+1) Удаленную диагностику и прогнозирование отказов (AI-based Predictive Maintenance).

Снижение количества физических вмешательств. Большинство сбоев устраняются перезагрузкой или перенастройкой удаленно. Плановые работы(чистка, замена вентиляторов) могут выполняться выездными бригадами по графику.

Экономические аспекты

Сокращение эксплуатационных расходов - зарплата персонала, социальные отчисления, логистика;

Оптимизация капитальных затрат;

Уменьшение необходимости в оборудовании, обслуживании рабочих мест сотрудников, столовых, санузлах, системах отопления и т.д.

Снижение простоев и повышение эффективности

Исключаются человеческие ошибки при ручных настройках;

Возможность управления несколькими узлами из одного центра.

Проект системы мониторинга

При переводе сетевого узла связи в разряд «не обслуживаемый», т.е. без постоянного присутствия технического персонала, в рамках данного проекта планируется установка дополнительной системы мониторинга:

Контроль внешнего электропитания 0.4 кВ. от трансформаторной подстанции, а также от ДГУ;

Контроль работы кондиционеров в линейно-аппаратных залах;

Контроль параметров работы ДГУ.

Описание оборудования

Для данного проекта предлагается использовать оборудование на базе многофункционального Аппаратно-Программного Комплекса Ценсор, ООО НПЦ «Компьютерные технологии». Для контроля

электропитания:УСИ-8EG(Рис.1) и блок ДКФ-3М(Рис.2). Для контроля температуры: УСИ- 8EG (Рис.1) и блок расширения МР-8СК (Рис.4)



Питание вход: 36..72 В
 Питание выход: 5 В 120 мА
 Питание выход: 12 В 120 мА
 Интерфейс 1: RS485
 Интерфейс 2: Не задействован
 Интерфейс 3: 2-Wire
 Порты общего назначения: 8 шт.

Рисунок 1. Устройство сбора информации УСИ-8EG



Питание вход: 12 В 40 мА
 Интерфейс: 2-Wire
 Точность измерения напряжения:
 3 %
 Контролируемые параметры:

- Напряжение и ток по фазам;
- Порядок чередования фаз;
- Частота сети.

Рисунок 2. Датчик контроля фаз ДКФ-3М



Питание вход: 7..36 В
 Кол-во датчиков температуры: 2 шт.
 Кол-во сухих контактов: 8 шт.
 Кол-во резистивных или токовых входов: 4 шт.
 Интерфейсы: RS-485 и 2-Wire

Рисунок 3. Блок контроля дизель генераторной установки БК-ДГУ



Питание вход: 12 В 20 мА
Интерфейс: 2-Wire
Порты общего назначения: 8 шт.

Рисунок 4. Блок расширения MP-8СК

Контроль электропитания сетевого узла связи

Узел связи относится к первой «особой» группе электроснабжения. Поэтому в данном случае электропитание обеспечивается двумя независимыми вводами от трансформаторной подстанции (ТП), а также отдельный ввод от дизель-генераторной установки (ДГУ).

Электропитание узла связи осуществляется от трансформаторной подстанции по двум независим вводам, кабелем АВВГ 4*150 мм², а также на случай аварийного отключения существует два ввода от дизель-генераторной установки (рис. 5).

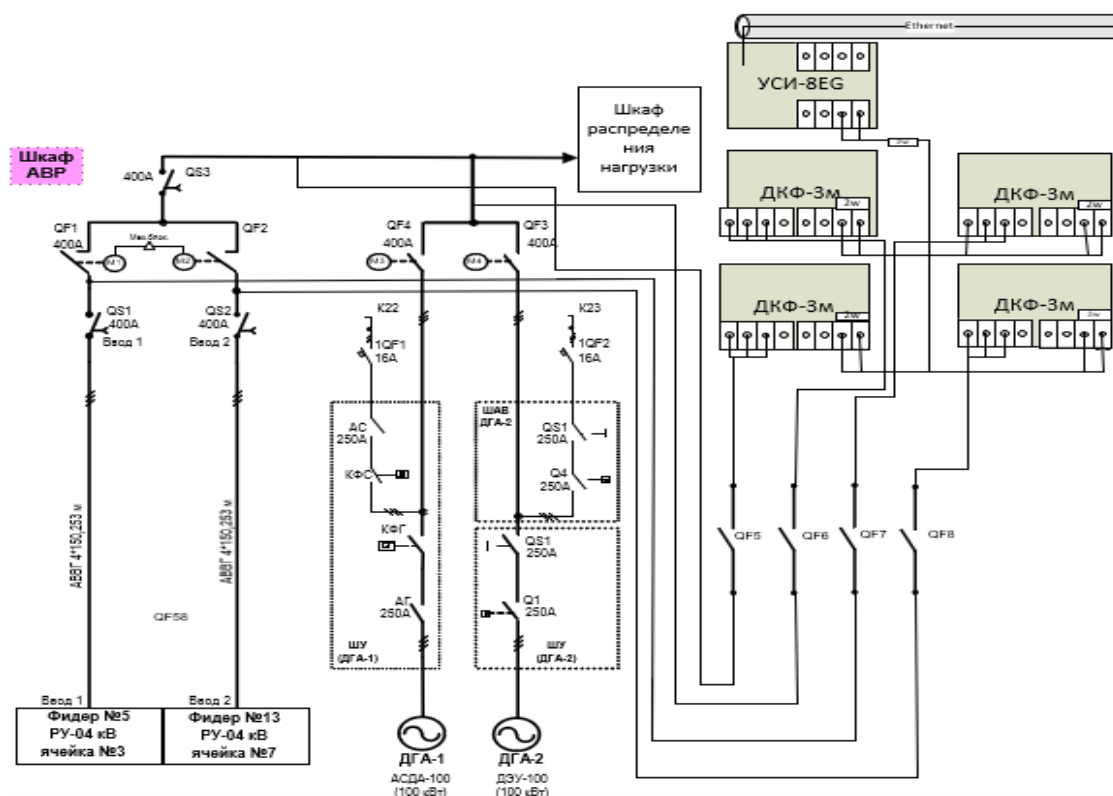


Рисунок 5. Схема подключения блоков ДКФ-3м и УСИ-8Е

Соответственно, для получения полной картины отражающей состояние наличия напряжения на вводах нам необходимо контролировать два ввода от трансформаторной подстанции, один ввод (после АВР) от дизель-генераторной установки, а также наличие напряжения на общей шине щита распределения нагрузки (Рис.4).

Оборудование мониторинга УСИ-8EG(Рис.1) и четыре блока ДКФ-3М (Рис.2) необходимо разместить рядом с вводными защитными устройствами для уменьшения длины коммутационных линий и линий связи между блоками системы. Информация с контроллера УСИ-8EG (Рис.1) по линии связи Ethernet будет поступать на коммутатор доступа (КД).

Контроль работы кондиционеров посредством измерения температуры

СУС №12800 оборудован кондиционерами разных производителей, общая система контроля отсутствует, исходя из этого, для контроля работы или аварийных ситуаций возникших во время работы кондиционеров предлагается использовать измерение температуры в линейно-аппаратных залах несколькими датчиками температуры DS 18B20(Рис.6).

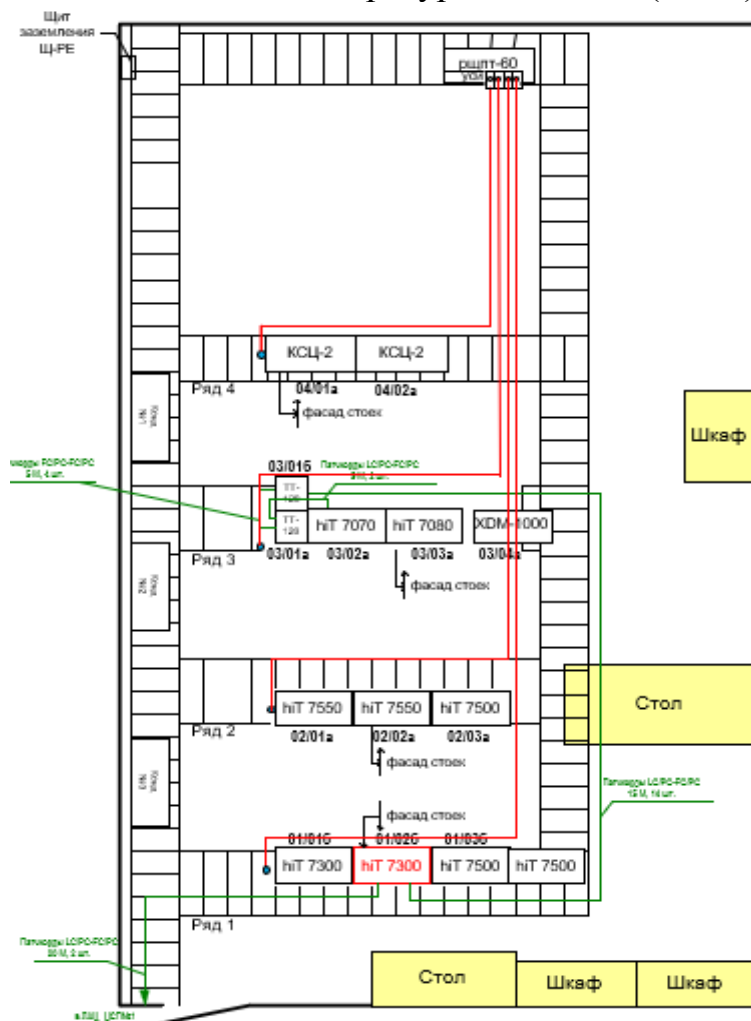


Рисунок 6. План линейно-аппаратного зала № 1

Для обеспечения точной работы датчиков температуры, линия соединяющая УСИ-8EG с датчиком DS 18B20 должна быть не более 10 метров. Длина соединительной линии от УСИ-8EG находящегося в ЛАЗе №1 до датчиков температуры в ЛАЗе №2 превышает 10 метров, в этом случае необходимо установить блок расширения МР-8СК(Рис.4) в ЛАЗе №2(Рис.6)

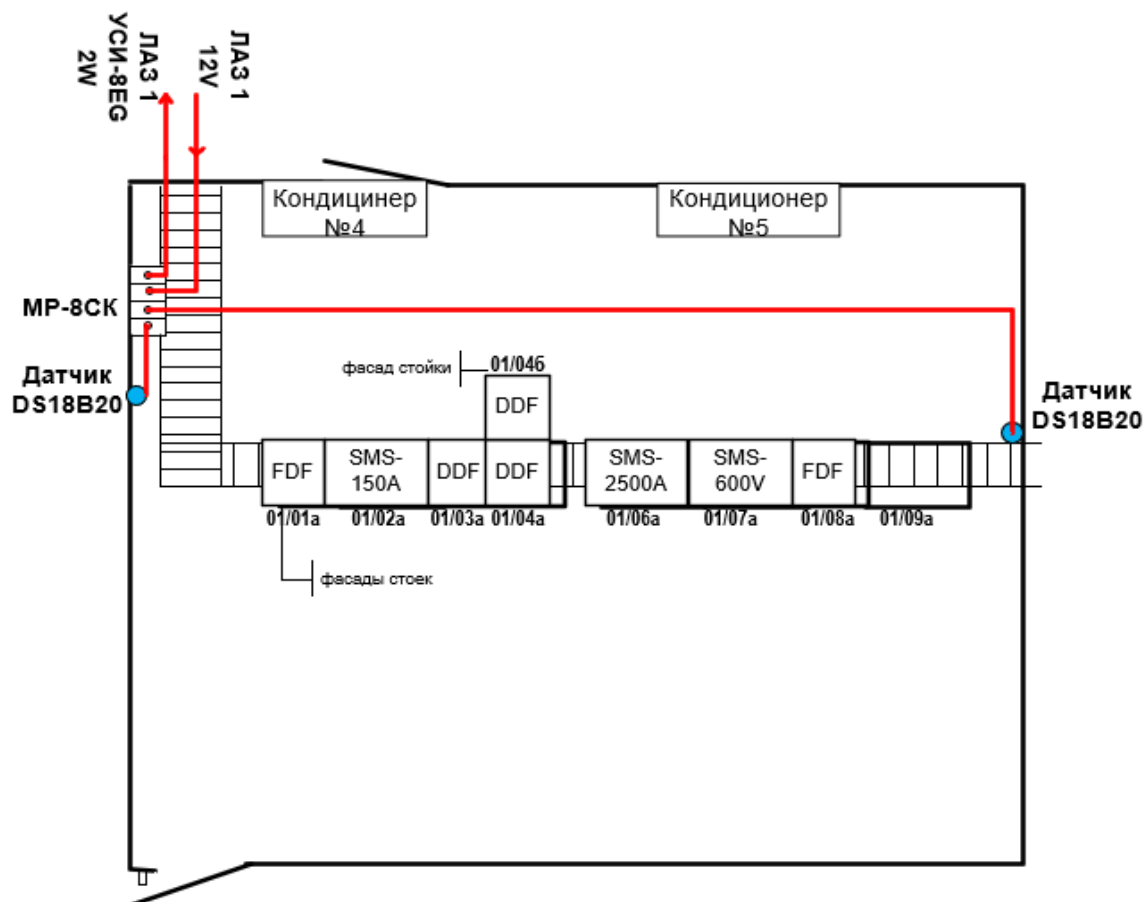


Рисунок 6. Схема расположения датчиков температуры в ЛАЗ №2

На (Рис.7) изображена схема подключения системы контроля температуры в технологических помещениях.

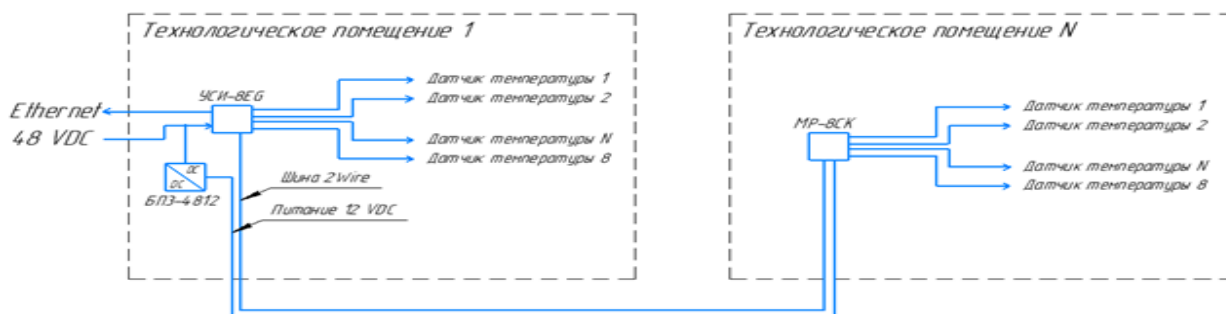


Рисунок 7- Схема системы контроля температуры

Это позволит более точно контролировать температуру в помещениях, т.е. при выходе из строя кондиционера, система сразу зафиксирует изменение температуры и выдаст аварийный сигнал.

Аварийным случаем по климатическому оборудованию предлагается считать повышение температуры $\geq 5^{\circ}\text{C}$.

Контроль параметров дизель-генераторной установки (ДГУ)

Данный контроль будет осуществляться блоком БК-ДГУ (Рис.8), он включает в себя контроль параметров трехфазного ввода по напряжениям, токам, частоте и чередованию фаз, контроль аккумулятора по напряжению, току и времени разряда, контроль состояния автоматики, снятие показаний с датчиков температуры, давления, снятие показания с датчиков, имеющих резистивный выход и др.

Рекомендации:

- Датчик уровня топлива необходимо отключить от панели управления ДГУ;
- В зависимости от типа панели управления сигналы «Авария» и «Запуск» могут являться или сухими контактами (подключаются к портам БК-ДГУ напрямую), или выходами постоянного тока 24 В (подключаются к портам БК-ДГУ через модули согласования RL-V);
- В зависимости от типа ДГУ БК-ДГУ питается или от панели, или от клемм АКБ;
- Кабель КСПВГ 2х0.35;
- Наконечник НШВИ 0.5-10.

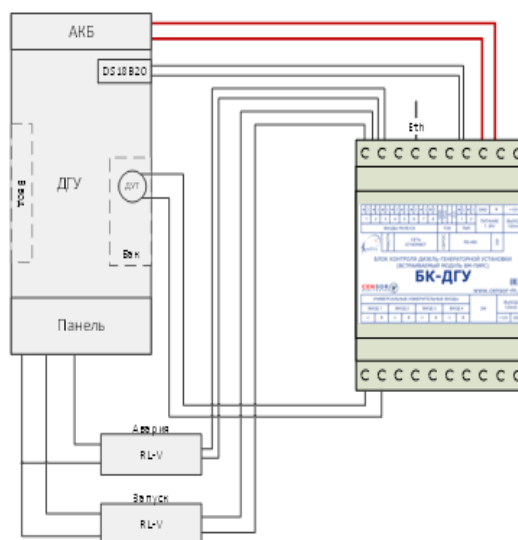


Рисунок 8. Схема размещения и подключения датчиков к БК-ДГУ

Информация с блока БК-ДГУ (Рис.3) по линии связи Ethernet будет поступать на коммутатор доступа.

Заключение

Данная работа позволяет дополнить существующие системы контроля и осуществлять мониторинг в полном объеме, что позволит оптимизировать работу сетевого узла связи №12800.

Список литературы

1. «Официальный АПК Ценсор – ООО НПЦ Компьютерные технологии»
<https://www.censor-m.ru/-свободный>
2. «Официальный сайт ИРНИТУ» [Электронный ресурс]/Режим доступа:
<https://www.istu.edu/> – свободный;
3. «Официальный сайт Ростелеком» [Электронный ресурс]/Режим доступа:
<https://irkutsk.rt.ru> – свободный.

Резонансные частоты колебаний HE_{n11} и EH_{n11} в кольцевых диэлектрических резонаторах миллиметрового диапазона волн

Соколов В.А.¹, Тугов Д.А.¹, Егоров В.Н.²

1 – Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

2 – Восточно-Сибирский филиал Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений, Иркутск, Россия

sokolovvasia2003@gmail.com, daniil.tugov@gmail.com, egorov@vniiftri-irk.ru

Описываются результаты экспериментального исследования спектра резонансных частот и добротности открытых диэлектрических резонаторов в виде цилиндрических колец из плавленного кварца и сапфира в диапазоне частот 29...40 ГГц на колебаниях «шепчущей галереи» типов HE_{n11} и EH_{n11} . Экспериментальные резонансные частоты сравниваются с результатами расчета. Отмечается их совпадение с относительной погрешностью не более 0,7%

Введение

Точные измерения диэлектрических параметров материалов в миллиметровом диапазоне волн производят в открытых двухзеркальных резонаторах с вогнутыми металлическими зеркалами. Такие резонаторы имеют значительные габариты. Измеряемый образец диэлектрика занимает лишь малую часть объёма резонатора, что снижает чувствительность измерения. Образец должен перекрывать с запасом поперечное сечение волнового пучка в резонаторе. Перспективным представляется использование для диэлектрических измерений в миллиметровом диапазоне волн открытых диэлектрических резонаторов (ДР) кольцевой формы с колебаниями типа «шепчущей галереи», представляющих собой замкнутую на себя азимутальную поверхностную волну, направляемую криволинейной границей диэлектрика с почти полным внутренним отражением волны на ней.

Экспериментальная установка, результаты измерений и расчёт

В работе исследуются открытые диэлектрические резонаторы кольцевой формы с внешним диаметром D , внутренним d , высотой L из плавленного кварца и монокристаллического сапфира. Упрощённая схема ДР с возбуждающим диэлектрическим волноводом (ДВ) приведена на рисунке 1, а. Измерение спектра резонансных частот и добротности проводилось в диапазоне частот 29...40 ГГц на установке со скалярным анализатором цепей P2M-40 (рисунок 1, б). Измерялся спектр резонансных частот колебаний HE_{n11} и EH_{n11} с последовательно возрастающим азимутальным индексом n (рисунок 2).

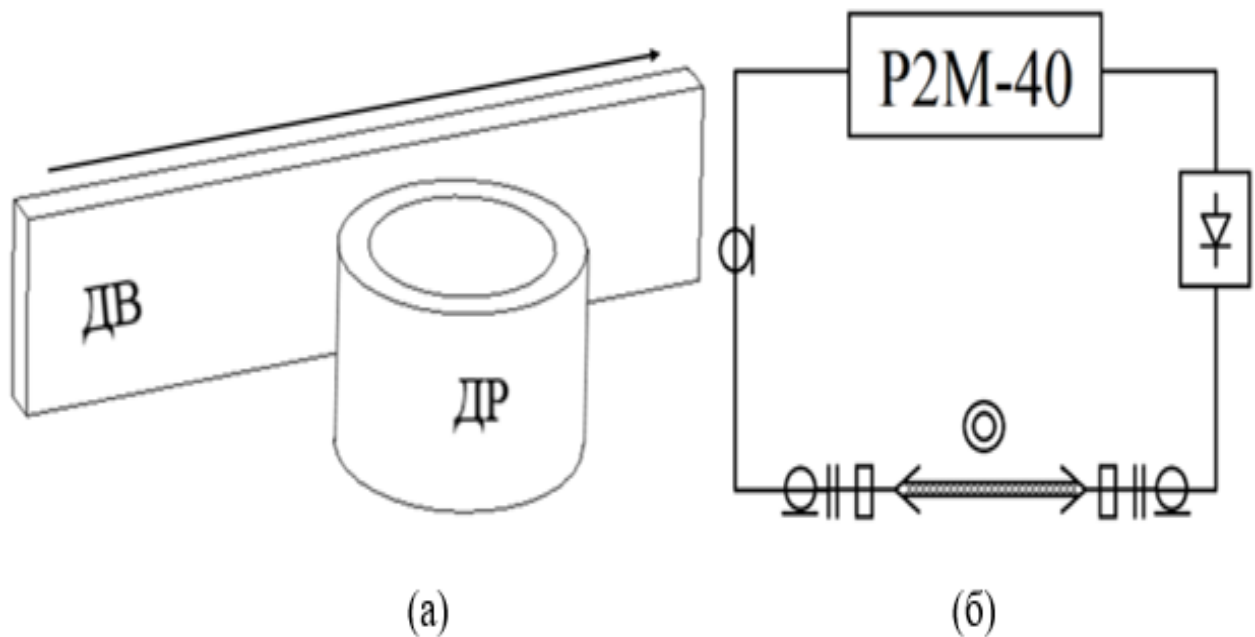


Рисунок 1. Установка с кольцевым диэлектрическим резонатором: ДР с диэлектрическим волноводом (а) и структурная схема установки (б)

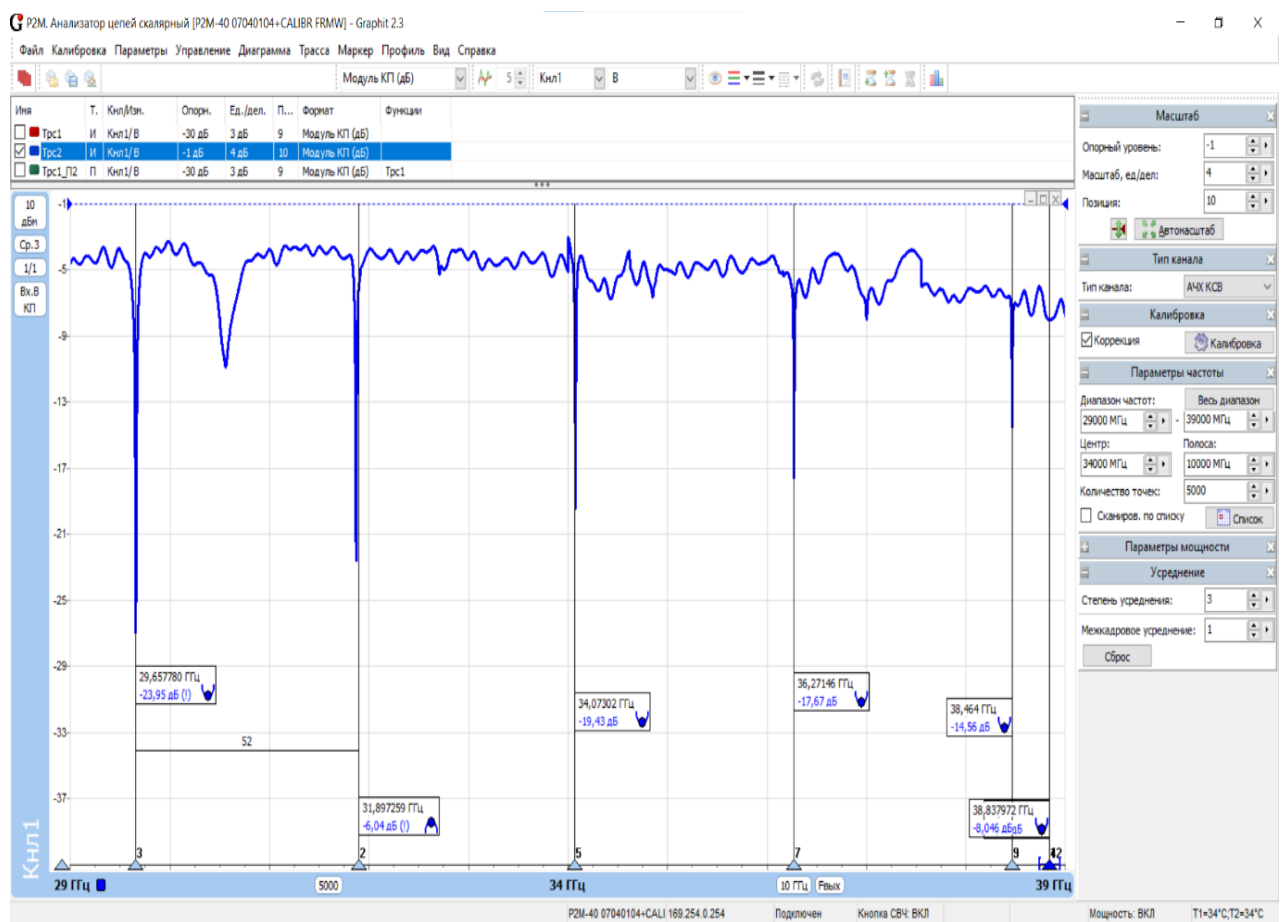


Рисунок 2. Спектр колебаний HE_{n11} кварцевого ДР

В таблице 1 приведены размеры ДР, спектры экспериментальных f_3 и расчётных f_p резонансных частот колебаний HE_{n11} и относительная погрешность расчёта $\delta f = (f_p - f_3)/f_3$. Расчет спектра резонансных частот проводился в среде «MathCad» по программе, разработанной в отделе радиотехнических измерений Восточно-Сибирского филиала ВНИИФТРИ. Расчёт сводится к решению системы из трёх трансцендентных уравнений.

В таблице 2 приведены размеры ДР, спектры экспериментальных f_3 и расчётных f_p резонансных частот колебаний EH_{n11} и относительная погрешность расчёта $\delta f = (f_p - f_3)/f_3$.

Таблица 1

Экспериментальный и расчётный спектры резонансных частот HE_{n11} -колебаний

ДР, материал	n	f_3 , ГГц	f_p , ГГц	δf , %
Кварцевый ДР $D=24,04$ мм $d=17,95$ мм $L=17,89$ мм	10	29,6552	29,736	0,2725
	11	31,8674	31,9146	0,1481
	12	34,0722	34,0815	0,0273
	13	36,2673	36,2409	-0,0728
	14	38,4619	38,3959	-0,1716
Сапфировый ДР $D=12,00$ мм $d=8,21$ мм $L=9,38$ мм	9	29,2125	29,2319	0,0664
	10	31,7390	31,8479	0,3431
	11	34,2623	34,3589	0,2819
	12	36,7903	36,8753	0,2310
	13	39,3142	39,3947	0,2048

В таблице 2 приведены размеры ДР, спектры экспериментальных f_3 и расчётных f_p резонансных частот колебаний EH_{n11} и относительная погрешность расчёта $\delta f = (f_p - f_3)/f_3$. Число наблюдаемых колебаний в сапфировом ДР в измеряемом диапазоне сократилось, так как ниже 29 ГГц потери на излучение EH_{n11} –колебаний становятся значительными (колебания становятся низкодобротными), сверху рабочий диапазон скалярного анализатора цепей Р2М-40 ограничен частотой 40 ГГц.

Таблица 2

Экспериментальный и расчётный спектры резонансных частот EH_{n11} -колебаний

ДР, материал	n	f_3 , ГГц	f_p , ГГц	δf , %
Кварцевый ДР $D=24,04$ мм $d=17,95$ мм $L=17,89$ мм	10	30,7539	30,8445	0,2946
	11	32,8847	32,9426	0,1761
	12	34,9770	35,0236	0,1332
	13	37,0577	37,0957	0,1025
	14	39,3338	39,1654	-0,4281
Сапфировый ДР $D=12,00$ мм $d=8,21$ мм $L=9,38$ мм	8	34,6931	34,9204	0,6552
	9	37,0218	37,2251	0,5491
	10	39,4682	39,6196	0,3836

В ДР из анизотропного диэлектрика, каким является сапфир, на резонансные частоты HE_{n11} -колебаний преимущественно влияет продольная компонента тензора диэлектрической проницаемости $\epsilon_{||} = 11,58$, на резонансные частоты EH_{n11} -колебаний сильнее влияет поперечная компонента тензора диэлектрической проницаемости $\epsilon_{\perp} = 9,39$.

Заключение

В исследованных кольцевых ДР наблюдаются азимутальные колебания типа «шепчущая галерея» двух поляризаций HE и EH с малыми потерями энергии на излучение.

Экспериментальный и расчётные спектры совпадают с погрешностью не более 0,7 %, уменьшающейся с ростом азимутального индекса колебания.

Список литературы

1. Диэлектрические резонаторы / М.Е. Ильченко, В.Ф. Взятыйшев, Л.Г. Гассанов и др.: Под ред. М.Е. Ильченко – М.: Радио и связь, 1989.-328с.: ил. – ISBN 5-256-00217-1.
2. Egorov V.N., Masalov V.L., Nefyodov Yu.A., Shevchun A.F., Trunin M.R. Measuring microwave properties of laminated dielectric substrates//Review of Scientific Instruments. – 2004. – vol. 75.-no.11, November 2004. – P.4423-4423.

Проект телевизионной передающей станции в отдалённых посёлках Магаданской области

Сороченко Н.Р., Просвирякова Л.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

nikitasorochenko5@gmail.com, lar_prosv@mail.ru

Цифровое телевизионное вещание представляет собой неотъемлемую и наиболее вероятную замену аналоговому телевидению. Отсутствие удовлетворительной спектральной эффективности и качества аналогового телевизионного сигнала заставляет человечество искать эффективные альтернативы. На сегодняшний день, среди разнообразных технологий передачи телевизионного сигнала (спутниковая, кабельная, мультимедийные сети сотовой связи), наиболее распространенным является наземное эфирное вещание. В декабре 1991 года ведущие телерадиокомпании и производители оборудования для телевидения создали организацию под названием «European Launching Group». Позднее данная организация сменила свое наименование на Digital Video Broadcasting Project. После объединения организация разработала стандарт для цифрового спутникового вещания – DVB-S. Позднее был разработан стандарт для цифровых систем кабельного телевидения – DVB-C. После этого была разработана высокотехнологичная система цифрового эфирного телевидения DVB-T.

Введение

Цифровое эфирное телевидение имеет множество преимуществ относительно аналогового телевидения:

- более высокое качество изображения и звука по сравнению с аналоговым;
- эффективное использование частотного ресурса за счет возможности передавать нескольких каналов на одной и той же частоте;
- цифровой формат поддерживает передачу сигнала высокой четкости что обеспечивает более четкое и детализированное изображение;
- цифровые трансляции позволяют передавать не только видео и аудио, но и дополнительные данные, такие как текстовые сообщения, графика, интерактивные приложения;
- цифровые сигналы обладают лучшей устойчивостью к помехам и интерференциям по сравнению с аналоговыми;
- цифровое вещание требует меньше энергии по сравнению с аналоговым;
- цифровые стандарты, такие как DVB-T2, предоставляют возможность для мобильного телевидения и трансляций через интернет, что повышает гибкость и доступность контента.
- цифровые технологии обеспечивают стандартизацию, что упрощает взаимодействие между различными производителями оборудования и расширяет выбор доступных телевизионных устройств.

Таким образом, переход к цифровому эфирному телевидению

приносит ряд значительных преимуществ, обеспечивая более высокое качество передачи, большой выбор контента и современные технологические возможности.

Вещание цифрового эфирного телевидения в настоящее время развёрнуто на всей территории страны.

К основным преимуществам цифрового телевидения можно отнести: более высокое качество изображения, устойчивость сигнала к помехам, уменьшение в несколько раз мощности потребления электроэнергии цифровым передатчиком, возможность трансляции изображения высокой чёткости, применения стереозвука, увеличение количества программ на одном частотном канале. Качественный приём цифрового сигнала возможен даже на комнатную антенну.

Целью выпускной квалификационной работы является разработка проекта организации сети цифрового телевизионного вещания по формированию второго мультиплекса в отдалённых посёлках Магаданской области, а именно в населённых пунктах Оротукан, Дебин и Синегорье по стандарту DVB-T2.

Расчёт проектируемой сети

Для определения требуемой мощности телевизионных передатчиков необходимо проанализировать параметры передаваемых радиосигналов, включая выбранную модуляцию, скорость кода и защитный интервал.

Второй мультиплекс цифрового телевидения России, известный как пакет цифровых каналов «РТРС-2», представляет собой набор федеральных обязательных общедоступных каналов.

Информационную скорость цифрового транспортного потока для организации вещания мультиплекса определяется по следующей формуле:

$$B = \frac{S \cdot F \cdot M \cdot L}{1024}, \text{ Мбит/с,}$$

где S – символьная скорость (ксимв/с);

F – помехоустойчивое кодирование FEC;

M – разрядность модуляции, для 8PSK $M = 3$ бит;

L – внешнее кодирование.

В соответствии с техническими данными на спутник «Ямал-401» для трансляции телепрограмм второго мультиплекса используется поток со следующими параметрами кодирования:

- символьная скорость $S=15,284$ ксимв/с;
- кодовая скорость $F=3/4$;
- количество бит $M=3$ (используется модуляция 8PSK).

Тогда по известному значению кодовой скорости можно определить параметр внешнего кодирования L из таблицы 6(а) Рекомендации ETSI EN 302 755, как отношение параметров K_{bch} / K_{ldpc} .

Для кодовой скорости $F=3/4$, $K_{bch}=48600$; $K_{ldpc}=64800$.

Тогда информационная скорость цифрового потока составит:

$$B = \frac{15284 \cdot \frac{3}{4} \cdot 3 \cdot \frac{48600}{64800}}{1024} = 25,19 \text{ Мбит/с.}$$

Таким образом для передачи телепрограмм второго мультиплекса необходимо обеспечить скорость передачи большую либо равную 25,19 Мбит/с.

Далее необходимо выбрать вид модуляции, длину защитного интервала и кодовую скорость для проектируемой сети. Необходимо подобрать такие параметры кодирования, чтобы полученная канальная скорость была больше требуемой.

Требуемая битовая скорость достигается при использовании модуляции 64-QAM со скоростью кода 3/5 и защитным интервалом 1/32.

Расчет мощности телевизионного передатчика начинается с учета необходимого радиуса охвата. Расстояние от РТПС до приемного оборудования, расположенного на границе зоны обслуживания, зависит от напряженности поля в точке приема. Эта напряженность поля связана с уровнем сигнала в точке приема, величина которой в точке приема определяется следующим выражением:

$$E_M = P_C - g_{np.a} + 20\lg(f_p) + 165,05, \text{ дБмкВ/м,}$$

где $f_p = 474 + 8(N - 21) = 474 + 8(30 - 21) = 546 \text{ МГц}$ – значение средней частоты телевизионного канала, ГГц;

$g_{np.a}$ – коэффициент усиления принимающей антенны, дБ. Согласно рекомендации МСЭ-Р для DVB-T2 принимается $g_{np.a} = 10 \text{ дБ}$.

На границе зоны обслуживания уровень сигнала равен минимально-допустимому уровню сигнала $P_C = P_{мин}$, при котором на выходе приемника обеспечивается требуемая вероятность ошибки $P_{ош}$. Минимально допустимый уровень сигнала определяется по формуле:

$$P_{C мин} = \rho_{BX} + 20\lg(k \cdot T_C \cdot \Delta f_{ш}), \text{ дБВт,}$$

где ρ_{BX} – соотношение несущая/шум на входе приемного устройства, при котором обеспечивается заданная вероятность ($\beta_{ош}$) ошибки, дБ;

k – постоянная Больцмана;

T_C – эффективная шумовая температура приёмного устройства, К;

$\Delta f_{ш}$ – шумовая полоса приёмника, примерно равная ширине полосы Δf_c , занимаемой модулированным радиосигналом, Гц.

Величина T_C с учётом действия внешних шумов определяется по формуле:

$$T_C = T_0 e^{0,23(\gamma + a_{ф.п.р} + n_{ш})}, \text{ К,}$$

где T_0 – температура окружающей среды, равная 290 К;

γ – коэффициент, учитывающий влияние внешних шумов, наводимых на

антенну (шумы космоса, промышленные шумы), принимается равным 3 дБ; $a_{ф.пр}$ – потери в фидере приёмного устройства, дБ, согласно рекомендации МСЭ-Р примем $a_{ф.пр}=0,5$, дБ.

$n_{ш}$ – коэффициент шума приёмника, принимается равным 7 дБ.

Тогда эффективная шумовая температура приёмного устройства составит:

$$T_c = 293 \cdot e^{0,23(3+0,5+7)} = 3279, \text{ К.}$$

Требуемая величина ρ_{BX} зависит от типа канала (Гаусса, Райса или Релея), порядка модуляции M , скорости кодирования. Для случая приема на стационарную антенну типом канала является канал Райса. Требуемое значение ρ_{BX} , в зависимости от заданной вероятности ошибки $\beta_{ош}$ на выходе декодера Витерби, рассчитывается по выражению:

$$\rho_{BX \text{ РАЙС}} = -12,9 + 10 \lg \left[\frac{(M + 1 - R_{CK})(2 - \lg \beta_{ош})}{(1 + \frac{T_3}{T_H})(1,25 - R_{CK})^2} \right] + \Delta \rho_i, \text{ дБ,}$$

где $\Delta \rho_i$ – энергетический запас на снижение отношения несущая-шум для реального канала связи ($\Delta \rho_i = 1,5$ дБ для QPSK, $\Delta \rho_i = 2$ дБ для 16-QAM и $\Delta \rho_i = 2,5$ дБ для 64-QAM).

Рассчитаем величину $\rho_{BX \text{ РАЙС}}$:

$$\rho_{BX \text{ РАЙС}} = -12,9 + 10 \lg \left[\frac{(64 + 1 - \frac{3}{5})(2 - \lg 2 \cdot 10^{-4})}{(1 + \frac{1}{32})(1,25 - \frac{3}{5})^2} \right] + 2,5 = -18,855, \text{ дБ.}$$

Тогда минимальный уровень сигнала, при котором на выходе приемника обеспечивается требуемая вероятность ошибки составит:

$$P_{с \text{ мин}} = 18,855 + 20 \lg(1,38 \cdot 10^{-23} \cdot 3279 \cdot 8 \cdot 10^6) = -105,558 \text{ дБ.}$$

Теперь можно определить напряженность электромагнитного поля в точке приема для каждого из мест установки телевизионного передатчика по формуле (3.2):

$$E_M = -105,558 - 10 + 20 \lg(0,546) + 165,05 = 44,236, \text{ дБмкВ/м.}$$

Для уверенного стационарного приема необходимо учесть энергетический запас 13 дБ для 99% мест приема сигнала. В результате на границе зоны обслуживания минимальная напряженность поля будет определяться как:

$$E_{\text{мин}99\%} = E_M + \Delta E(99\%) = 44,236 + 13 = 57,236 \text{ дБмкВ/м.}$$

С учетом выбранной высоты подвеса $h=10$ м по кривым МСЭ-Р определим напряженность поля для 50% мест и 50% времени приема:

$$E_{5050} = 75,5, \text{ дБмкВ/м.}$$

Исходя из полученной напряженности поля для 50% мест и 50%

времени определим необходимую излучаемую мощность передатчиков:

$$P_{\Sigma mp} = E_{\min 99\%} - E_{5050} = 57,236 - 75,5 = -18,264, \text{ дБкВт/м.}$$

Тогда с учетом затухания в фидере и коэффициента усиления передающей антенны требуемая мощность на выходе передатчика составит:

$$P_{nd} = P_{\Sigma mp} - g_{nd.a} + a_{\phi.nd} = -18,264 - 5 + 0,72 = -22,544, \text{ дБкВт.}$$

Или в Вт: $P_{nd} = 5,5 \text{ Вт.}$

Уточнение зон обслуживания передатчика

Типовые мощности выбранных для использования передатчиков (10 Вт) больше минимально необходимых (5,5 Вт) для использования в проекте. Вследствие чего возникает потребность в уточнении зон радиопокрытия.

Произведем расчет зоны покрытия сети с учетом используемых передатчиков. Определим излучаемую мощность:

$$P_{\Sigma} = P_{nd} + g_{nd.a} - a_{\phi.nd} = 10 \lg \left(\frac{10}{100} \right) + 5 - 0,72 = -15,72, \text{ дБкВт.}$$

Исходя из полученных значений, определим напряженность поля для 50% мест и 50% времени приёма:

$$E_{5050} = E_{\min 99\%} - P_{\Sigma} = 57,236 - (-15,72) = 72,956 \text{ дБмкВ/м.}$$

По кривым МСЭ-Р определим радиус зоны обслуживания:

$R_{10Bm} = 4 \text{ км.}$ Уточним полученные данные.

$$R = R_1 \cdot 10^{\frac{E_{5050} - E_{5050 1}}{E_{5050 2} - E_{5050 1}} \cdot \lg \left(\frac{R_1}{R_2} \right)} = 4 \cdot 10^{\frac{72,956 - 69}{78 - 69} \cdot \lg \left(\frac{3}{5} \right)} = 4,16, \text{ км,}$$

где R_1 – ближайшее целое значение радиуса зоны обслуживания по кривым МСЭ-Р, меньше чем $R_{10 \text{ Вт}}$, составляет 3 км;

R_2 – ближайшее целое значение радиуса зоны обслуживания по кривым МСЭ-Р, больше чем $R_{10 \text{ Вт}}$, составляет 5 км;

где $E_{5050 1}$ – значение напряженности поля для R_1 , при требуемой высоте подвеса $h=10 \text{ м}$, составляет 78 дБмкВ/м;

$E_{5050 2}$ – значение напряженности поля для R_2 , при требуемой высоте подвеса $h=10 \text{ м}$, составляет 69 дБмкВ/м.

Уточнённая зона радио покрытия телевизионных передатчиков изображена на рисунке 1.

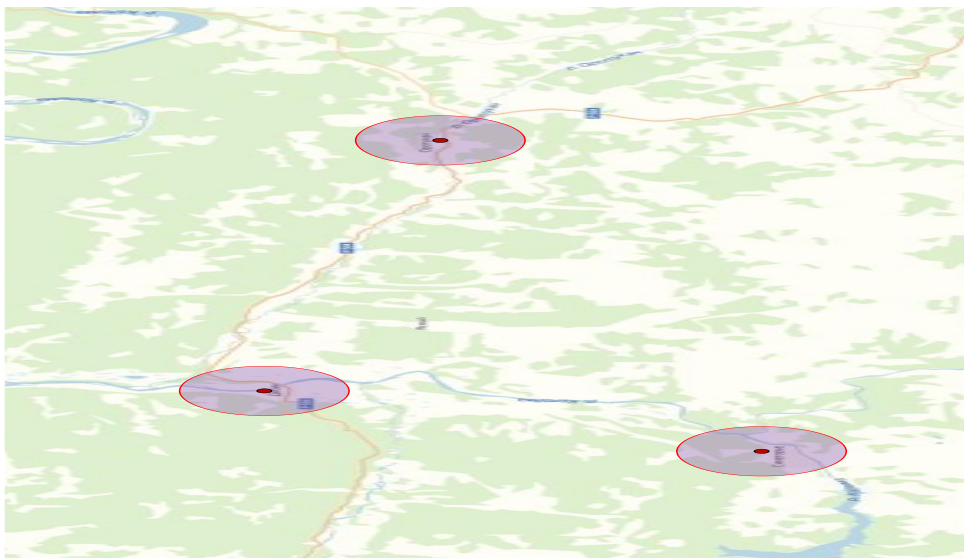


Рисунок 1. Уточненная зона радио покрытия телевизионных передатчиков

Заключение

В результате был разработан проект формирования второго мультиплекса в отдалённых посёлках Магаданской области, который обеспечит в посёлках городского типа Оротукан, Дебин и Синегорье Ягоднинского района Магаданской области трансляцию телевизионных программ второго мультиплекса в стандарте DVB-T2.

Список литературы

1. Указ Президента Российской Федерации «Об общероссийских обязательных общедоступных телеканалах и радиоканалах» от 12.05.2011г. № 637. Свободный доступ из локальной сети: URL - <https://www.pravo.gov.ru/> (дата обращения 10.05.2023г.).
2. Федеральная целевая программа «Развитие телерадиовещания в Российской Федерации на 2009 – 2018 годы». Свободный доступ из локальной сети: URL – <https://www.pravo.gov.ru/> (дата обращения 10.05.2025г.).
3. ГОСТ Р 52210-2004г. «Телевидение вещательное цифровое. Термины и определения». Утверждён и введён в действие 01.01.2005г. (Дата обращения 11.05.2025г.).
4. ГОСТ Р 58912-2020г. Телевидение вещательное цифровое. Система эфирного наземного цифрового телевизионного вещания второго поколения DVB-T2. Общие технические требования. Утверждён и введён в действие 01.01.2021г. (Дата обращения 12.05.2025г.).
5. Рекомендация МСЭ - R 1546-4. Метод прогнозирования для трасс связи «пункта с зоной» для наземных служб в диапазоне частот от 30 МГц до 3000 МГц, 2010г. Свободный доступ: URL – <https://www.itu.int> (дата обращения 10.05.2025г.).
6. Рекомендация МСЭ – R P.1812. Метод прогнозирования распространения сигнала на конкретной трассе для наземных служб «из пункта в зону» в диапазонах УВЧ и ОВЧ. 2012г. Свободный доступ: URL – <https://gostassistant.ru> (дата обращения 15.05.2025г.).

Краевая емкость измерительного конденсатора по результатам эксперимента, расчетов и ее аппроксимация

Тугов Д.А.¹, Соколов В.А.¹, Егоров В.Н.²

**1 – Иркутский Национальный Исследовательский Технический
Университет, Иркутск, Россия**

**2 – Восточно-Сибирский филиал Всероссийского научно-
исследовательского института физико-технических и радиотехнических
измерений, Иркутск, Россия**

daniil.tugov@gmail.com, sokolovvasia2003@gmail.com, egorov@vniiftri-irk.ru

Описываются результаты экспериментального исследования краевой ёмкости измерительного плоского конденсатора для диэлектрических измерений в зависимости от межэлектродного расстояния. Проводится сравнение этих результатов с данными аналитического и численного моделирования. Приведены зависимости экспериментальной полной ёмкости конденсатора, расчетной ёмкости по аналитической модели ГОСТ 22372-77, стандарту ASTM D150-22 и численному моделированию в пакете CST Studio Suite. Приведена аппроксимирующая функция для относительного вклада краевой емкости.

Введение

Измерения диэлектрических параметров материалов на низких частотах (НЧ) обычно проводятся в измерительной ячейке в виде плоского конденсатора с электродами круговой формы [1]. Основными факторами, определяющими точность измерения относительной диэлектрической проницаемости ε , являются остаточные микрозазоры между плоскими поверхностями дискового образца и плоскими металлическими электродами измерительного конденсатора, а также т.н. «краевая емкость» реального конденсатора. Вблизи краев электродов нарушается однородность электрического поля и происходит «затекание» токов на наружные поверхности электродов, что учитывается краевой ёмкостью [2]. Краевая емкость увеличивает емкость расчетного плоского конденсатора с электродами диаметром d на неизвестную величину $C_{кр}$ изменяющуюся при изменении межэлектродного расстояния t .

Расчет, моделирование, измерение краевой емкости

В работе исследуется конденсатор из двух плоских алюминиевых электродов круговой формы, расположенных соосно и параллельно. Полная ёмкость измерительного конденсатора C_{Σ} выразится как

$$C_{\Sigma} = C_0 + C_{кр}, \quad (1)$$

где $C_0 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{t}$ – ёмкость плоского конденсатора с зазором t между электродами, S – площадь электрода, ε – относительная диэлектрическая проницаемость среды в конденсаторе, ε_0 – электрическая постоянная

вакуума, $C_{кр}$ – краевая ёмкость, включающая кроме собственно краевой ёмкости $C_{кр0}$ еще монтажную ёмкость C_m (ёмкость кабелей и всей конструкции на «землю»).

Вклад краевой ёмкости в формуле (1) уменьшается с уменьшением отношения межэлектродного расстояния t к диаметру электродов конденсатора d . Для расчета краевой ёмкости существует несколько приближенных математических моделей, описываемых в [2,3]. Краевая ёмкость плоского конденсатора с круговыми электродами и воздушным заполнением дается в ГОСТ 22372-77 выражениями

$$C_{кр0} = \varepsilon_v \cdot \pi d (0,0029 - 0,0058 \lg(0.1t)), \quad a < t, \quad (2)$$

$$C_{кр0} = \varepsilon_v \cdot \pi d (0,00326 \cdot \lg \frac{d}{t} + z + 0,00031), \quad a \approx t. \quad (3)$$

В стандарте ASTM D150-22 краевая ёмкость дается выражением

$$C_{кр0} = \varepsilon_v \cdot \pi (d + t) \cdot (0,0087 - 0,00252 \ln(t)), \quad a \ll t, \quad (4)$$

где a – толщина плоского электрода, $z = 0,00326 \left[\left(1 + \frac{a}{t}\right) \cdot \lg \left(1 + \frac{a}{t}\right) - \frac{a}{t} \lg \frac{a}{t} \right]$, $\varepsilon_v = 1,0006$ – диэлектрическая проницаемость воздуха.

Современные программные пакеты численного моделирования электромагнитных полей позволяют рассчитывать поля в устройствах достаточно сложной конфигурации и различные параметры устройств, в т.ч. электрическую ёмкость. Точность таких расчетов требует экспериментальной проверки. Измерительный конденсатор также моделировался в программном пакете CST Studio.

Ёмкость конденсатора в виде двух соосных дисков диаметром $d = 75,98$ мм толщиной $a = 1,94$ мм (рис.1) измерялась емкостным мостом АН-2700 с относительной неопределенностью $5 \cdot 10^{-6}$ при значениях межэлектродного расстояния t от 0,544 мм до 3,094 мм, измеряемого с неопределенностью 3 мкм. На рис.2 приведены зависимости полной экспериментальной ёмкости конденсатора, расчетной ёмкости с поправкой на краевую ёмкость по ГОСТ 22372-77, с поправкой на краевую ёмкость по стандарту ASTM D150-22, численному моделированию в CST Studio, и ёмкость расчетного плоского конденсатора.

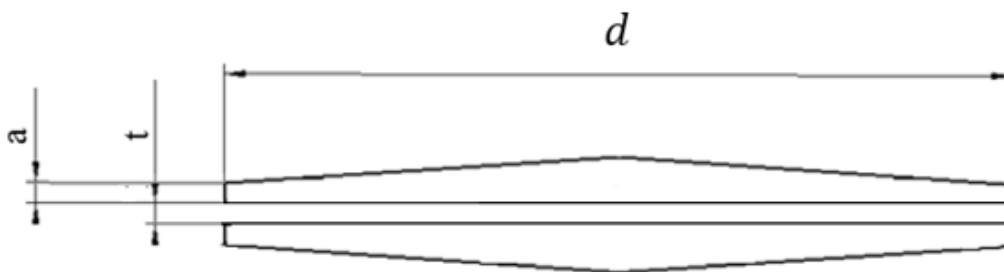


Рисунок 1. Исследуемый конденсатор

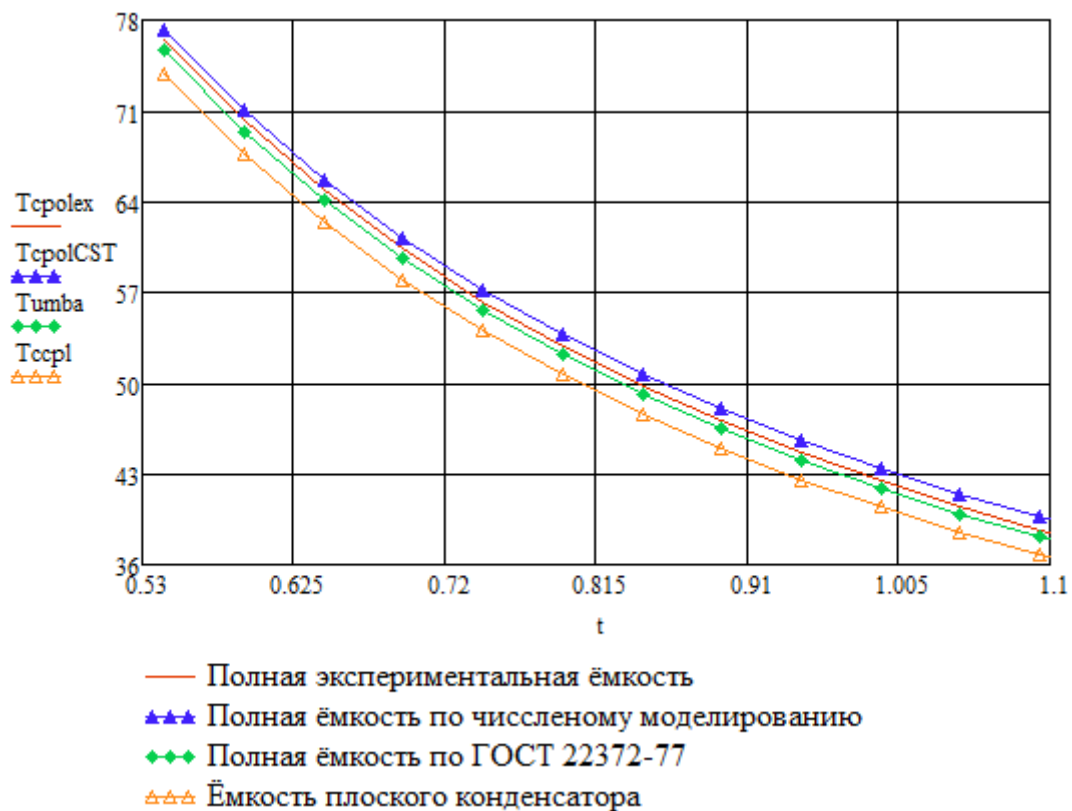


Рисунок 2. Ёмкость измерительного конденсатора

На рис. 2 видно различие графиков полной ёмкости в зависимости от метода расчета. Численное моделирование в пакете CST Studio Suite показало завышенные значения полной емкости по модели относительно эксперимента на относительную величину от 0,005 при минимальном межэлектродном расстоянии до 0,085 при максимальном.

Экспериментальная краевая ёмкость находилась как разность между экспериментальной ёмкостью и расчетной ёмкостью плоского конденсатора. В таком определении краевая ёмкость включает, кроме собственно краевой ёмкости, еще и т.н. монтажную ёмкость, включенную параллельно первой. Под ней мы будем понимать предел краевой ёмкости при увеличении межэлектродного расстояния. Монтажная ёмкость имеет порядок 1 пф, предполагается не зависящей от межэлектродного расстояния и отдельно не рассматривается.

При измерениях с малыми межэлектродными зазорами (единицы мкм) основная проблема состоит в определении начала отсчета межэлектродного расстояния («нулевого зазора») из-за больших нестабильных значений ёмкости и перехода в режим короткого замыкания электродов при очень малых изменениях зазора. Начальное значение межэлектродного зазора находилось расчетным путем по максимальной ёмкости конденсатора при нескольких измерениях без учета краевой ёмкости (по формуле плоского конденсатора). Максимальная ёмкость

конденсатора составила 3375 пф, что соответствует начальному зазору 11,9 мкм в приближении плоского конденсатора.

В практических применениях интерес представляет не абсолютное значение краевой ёмкости, а ее значение относительно ёмкости соответствующего плоского конденсатора – относительный вклад краевой ёмкости $\delta\Delta Ckrt_t = \left(\frac{Ch_t}{C_{0t}}\right) - 1$, где Ch – экспериментальная ёмкость конденсатора. На рис.3 приведены зависимости экспериментального и расчетных вкладов краевых ёмкостей относительно ёмкости плоского конденсатора.

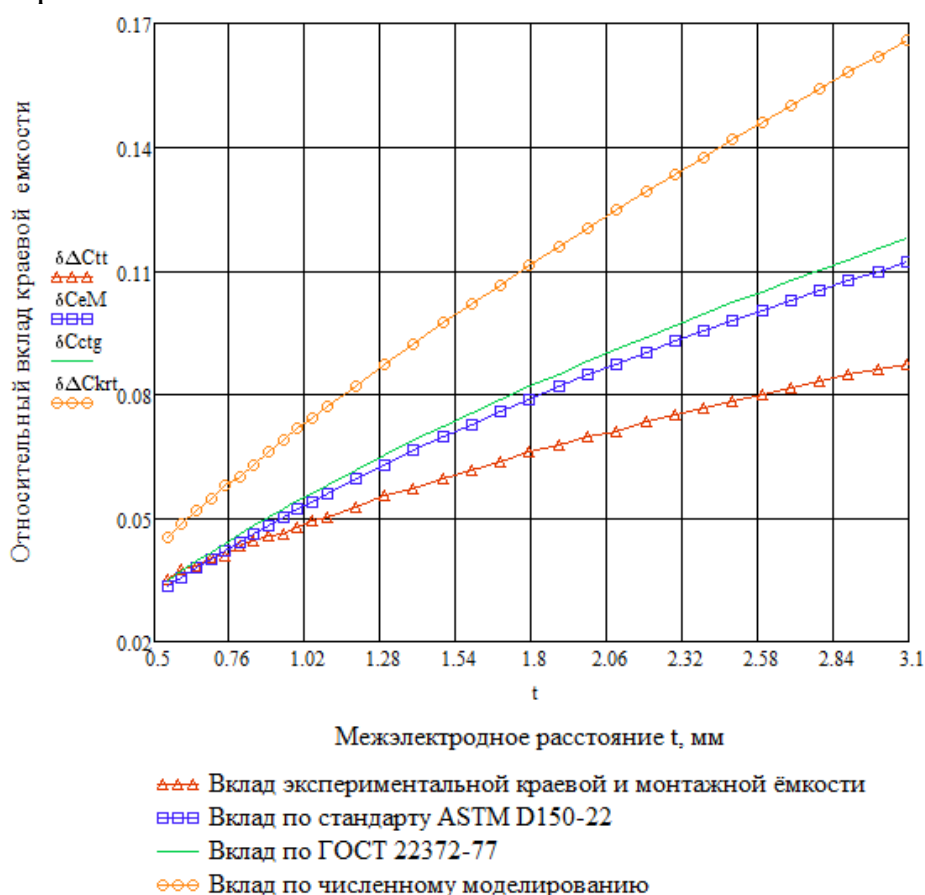


Рисунок 3. Относительный вклад краевой ёмкости измерительного конденсатора

Этот относительный вклад удобно представить в аналитическом виде для чего необходимо провести аппроксимацию аналитической функцией подходящего вида. Для большей универсальности зависимость целесообразно привести в безразмерных координатах, используя в качестве аргумента не абсолютное межэлектродное расстояние t , а расстояние, нормированное к толщине электрода $x=t/a$. Экспериментальная зависимость представляет собой гладкую монотонно возрастающую функцию по виду напоминающую степенную. В качестве такой функции выбрана зависимость описанная уравнением следующего вида

$Fu(x) = u_0 \cdot (x)^{u_1} \cdot \frac{4a}{\varepsilon\varepsilon_0 \cdot \pi \cdot 10^9}$, где u_0 , u_1 – искомые параметры аппроксимации. Аппроксимация проводилась в программе “genfit” в среде «Маткад». Полученные значения параметров $u_0 = 2,60638$, $u_1 = 0,783071$ на рис. 4, где vx – вектор нормированного экспериментального межэлектродного расстояния

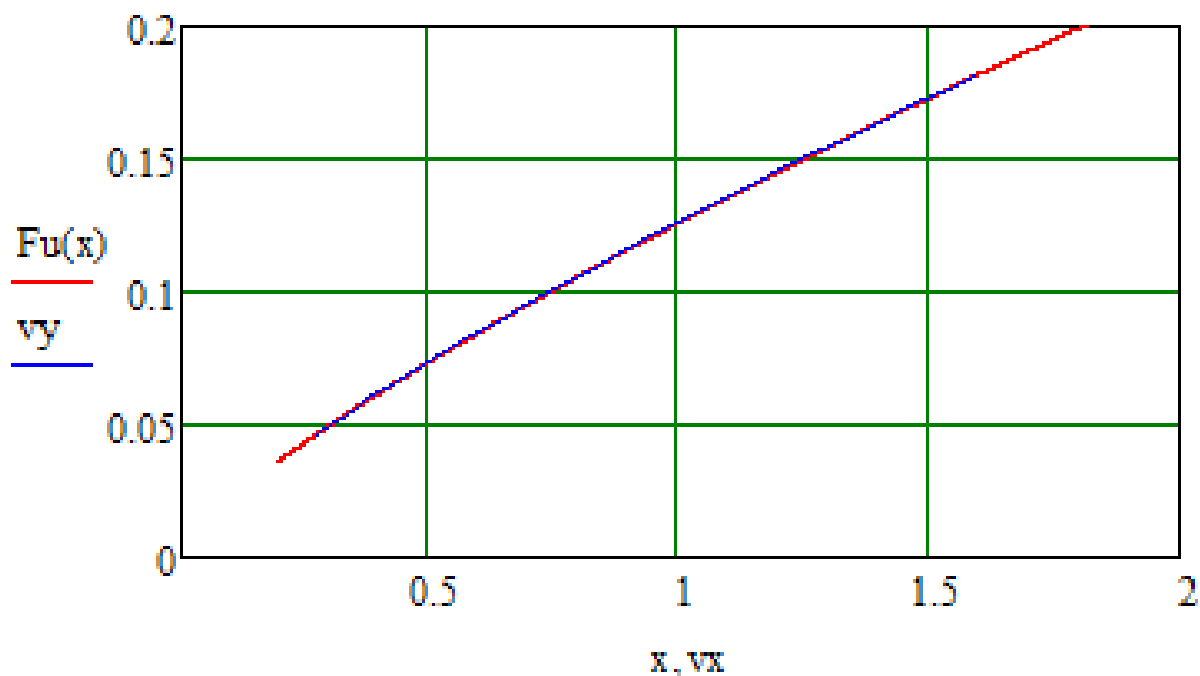


Рисунок 4. Экспериментальная зависимость и аппроксимирующая функция

На рис. 5 показано отклонение аппроксимирующей функции от экспериментальных данных не превышающее 0,04%

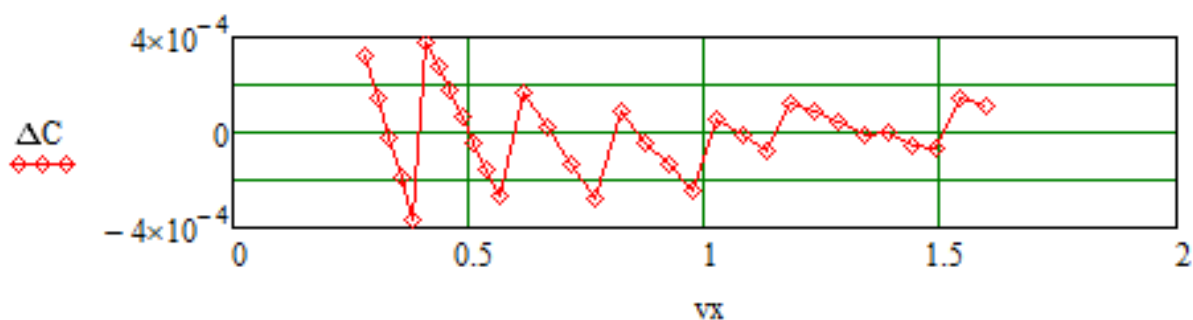


Рисунок 5. Отклонение аппроксимирующей функции от экспериментальных данных

«Пилообразное» отклонение экспериментальных данных от гладкой аппроксимирующей функции связано, вероятно, недостаточной плавностью механизма перемещения электрода измерительного конденсатора.

Заключение

Краевая ёмкость исследованного конденсатора для диэлектрических измерений составляет существенную часть ёмкости плоского конденсатора, участвующей в расчетах диэлектрических параметров по емкости.

Расчеты краевой ёмкости по стандартам [2,3] и численным способом в пакете CST дают завышенные значения относительно эксперимента.

Список литературы

1. Алтаев О.О., Егоров В.Н., Кащенко М.В., Масалов В.Л., Токарева Е.Ю. Государственный первичный эталон единиц комплексной диэлектрической проницаемости в диапазоне частот от 10 Гц до 10 МГц ГЭТ 121-2015. // Измерительная техника. 2017. №1. С. 3-7.
2. ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до $5 \cdot 10^6$ Гц.
3. ASTM D150-22. Методы определения диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь твёрдых электроизоляционных материалов при переменном токе.
4. М. Хибель. Основы векторного анализа цепей. Пер. с англ. С. М. Смольского. М., Изд. дом МЭИ, 2009.
5. Диэлектрические резонаторы/М.Е. Ильченко, В.Ф. Взятых, Л.Г. Гассанов и др.: Под ред. М.Е. Ильченко — М.: Радио и связь, 1989.-328с.: ил. —ISBN 5-256-00217-1.
6. Egorov V.N., Masalov V.L., Nefyodov Yu.A., Shevchun A.F., Trunin M.R. Measuring microwave properties of laminated dielectric substrates//Review of Scientific Instruments.-2004.-vol. 75.-no.11, November 2004.-P.4423-4423.

Современные проблемы радиотехники, электроники и связи

Уфимцев Е.В., Титовец И.А., Манушкин А.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

ufimtsev.evgeny03@mail.ru, titovec_vano@mail.ru, manushkin000@gmail.com

В работе рассмотрены ключевые проблемы современной электроники и беспроводных систем связи. Проанализированы технологические ограничения, влияние внешних факторов на качество связи, а также производственные и кадровые вызовы. Особое внимание уделено вопросам миниатюризации устройств, теплоотвода и устойчивости сигнала при различных атмосферных условиях. Предложены перспективные направления развития, включая адаптивные системы, компьютерное моделирование и экологичные технологии.

Введение

Современные технологии в области радиотехники, электроники и связи развиваются стремительно. Однако этому прогрессу сопутствуют вызовы: нехватка компонентов, растущие требования к безопасности, влияние климатических факторов и структурные проблемы в отрасли. В данной работе обобщены ключевые проблемы, обозначенные в ряде научных и отраслевых публикаций.

Влияние атмосферных явлений на качество сигнала в беспроводных атмосферных оптических линиях связи

Технология беспроводной передачи связи является необходимой для улучшения качества передачи сигнала, т.к ужесточение требований законодательных актов для прокладки кабелей ограничивает дальность и область применения. Однако беспроводная технология не обделена проблемами, а именно это ослабление вследствие влияния атмосферы, а также конструктивные особенности передатчика [1].

Влияющие на ослабление распространения излучения явления делят на три основные группы:

- Аэрозоли - капли воды в жидком и твердом состояниях: дымки, облака, дождь, снег, туман, пыль;
- Поглощение и рассеяние молекулами газов воздуха;
- Отклонения излучения на турбулентностях атмосферы.

Ослабление сигнала, в зависимости от условий наблюдали в информационно-технологическом центре Новосибирска, демонстрируется на рисунке 1[1].

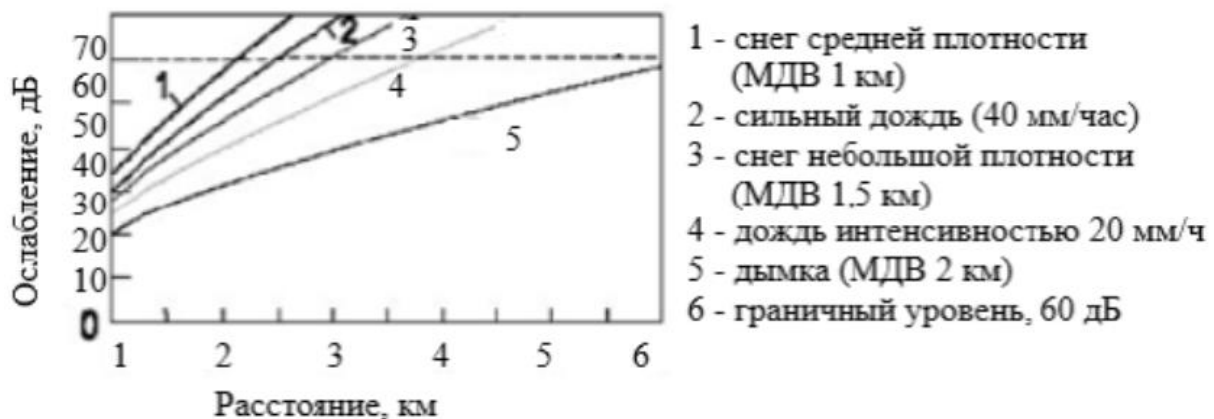


Рисунок 1. Зависимость ослабления сигнала в аэрозолях от расстояния при различных аэрозолях[1].

Проблемы микроэлектроники

На сегодняшний день целевой направленностью развития микроэлектроники является увеличение возможности интеграции микросхем, однако стоит отметить основные проблемы, которые возникают при проектировании и производстве микроэлектронных изделий [2].

- Проблема межсоединений: в микро- и нанометровом размере требуется особый подход к формированию изделия, например 3D-корпусирование. Этот метод позволяет формировать друг на друге кристаллы с отдельной электрической разводкой.
- Проблема теплоотвода: увеличение удельной мощности ведет ограничению размещения элементов. Есть возможность уменьшать напряжение, но это приводит к уменьшению помехоустойчивости.
- Проблема литографии: основной, но дорогостоящий метод создания изделий является ограниченным по получаемому размеру устройств.
- Проблема дефектов и контроля параметров: трудно получать бездефектные кристаллы, что снижает количество годных интегральных схем, также встречается подделка [2].

На текущий момент в каждой из обозначенных областей наблюдается прогресс в поиске решений. Типичным примером такого прогресса является использование в современных СБИС функционально интегрированных компонентов, объединяющих в одном полупроводниковом кристалле возможности нескольких базовых элементов [2].

Постоянное совершенствование материалов, технологий производства, алгоритмов и методов проектирования позволяет создавать все более мощные, компактные и эффективные системы, которые находят применение в самых разных областях человеческой деятельности

Радиоэлектроника и проблемы её разработки

Темпы развития радиоэлектроники требуют повышения технологического уровня ЭС, который определяется повышением требований к надежности, обеспечением защиты от дестабилизирующих факторов и сокращением отходов при их производстве или использование технологий безотходного производства [3].

Современные разработки в сфере радиоэлектроники сталкиваются с комплексом сложных задач, требующих инновационных решений.

- Сложность проектирования: интеграция разнородных физических процессов (электрических, механических, тепловых) в единую систему требует применения современных методов математического моделирования. Это связано с необходимостью обработки больших объемов данных и использованием высокопроизводительных вычислительных систем.
- Дефицит квалифицированных специалистов: отрасль испытывает нехватку профессионалов, обладающих как узкоспециализированными знаниями, так и навыками системного анализа и компьютерного моделирования. Подготовка таких кадров становится критически важной для дальнейшего развития отрасли.
- Экологические вызовы - глобальный рост объема электронных отходов, превышающий 40 миллионов тонн в год, создает серьезные экологические проблемы. Несмотря на наличие в отходах ценных компонентов, таких как драгоценные и редкоземельные металлы, технологии их переработки остаются недостаточно эффективными.
- Инновационные решения - внедрение цифровых методов проектирования, включая замену физических прототипов компьютерными моделями, открывает новые возможности для оптимизации разработки. Перспективным направлением является применение искусственного интеллекта, например, нейросетевых алгоритмов для анализа характеристик топлив и других сложных процессов [3].

Системный анализ надежности с использованием унифицированных моделей открывает новые возможности для выявления слабых мест в конструкции аппаратуры и оптимизации ее параметров. Компьютерное моделирование позволяет проводить широкий спектр испытаний, имитирующих различные сценарии эксплуатации, включая экстремальные условия и отказы отдельных компонентов. На основе результатов анализа можно разработать рекомендации по повышению надежности и долговечности аппаратуры, а также оптимизировать стратегии технического обслуживания и ремонта [3]. Необходимо также создать специализированное программное обеспечение, поддерживающее унифицированные модели и обеспечивающее эффективный анализ надёжности.

Заключение

Проведённое исследование показало, что современная электроника и телекоммуникации сталкиваются с целым рядом серьёзных вызовов. Основные трудности связаны с необходимостью создавать всё более компактные и мощные устройства, которые при этом оставались бы надёжными и энергоэффективными. Особенно остро стоит проблема зависимости беспроводных систем от атмосферных условий - туман, дождь и другие погодные явления существенно ухудшают качество связи. На производственном уровне требуются прорывные решения в области новых материалов и систем охлаждения, а также более эффективные методы переработки электронных отходов.

Не менее важна кадровая проблема - отрасль остро нуждается в специалистах, способных работать на стыке различных дисциплин, что требует существенного обновления образовательных программ. Перспективы развития видятся в создании "умных" адаптивных систем, способных самостоятельно оптимизировать свою работу в меняющихся условиях. Большие надежды возлагаются на компьютерное моделирование, которое позволяет значительно ускорить процесс разработки новых устройств. Решение этих задач требует комплексного подхода и тесного взаимодействия между научными организациями, инженерами-разработчиками и производственными предприятиями. Только объединив усилия, можно создать новое поколение электронных устройств, которые будут одновременно мощными, надёжными и доступными для массового потребителя.

В конечном итоге, развитие унифицированного подхода к моделированию является стратегически важным направлением развития науки и техники, способным обеспечить технологический прорыв и повысить конкурентоспособность отечественной промышленности на мировом рынке. Инвестиции в эту область являются инвестициями в будущее, в создание интеллектуальных систем, способных самостоятельно адаптироваться к вызовам современности и обеспечивать устойчивое развитие экономики.

Список литературы

1. Тобышева С. В. Факторы, влияющие на качество сигнала в беспроводных атмосферных оптических линиях связи // Уральский технический институт связи и информатики. — Екатеринбург, 2020. — С. 1–5.
2. Алмаметов В. В., Мариенко В. В., Кузьяк А. В., Суряев Е. С., Тюрина Л. А. Современные проблемы развития микроэлектроники // Пензенский государственный университет. — Пенза, 2020. — С. 1–3.
3. Лапшин Э. В., Байгузова А. В., Шорников Ю. Е. Радиоэлектроника и проблемы, связанные с её разработкой // Пензенский государственный университет. — Пенза, 2020. — С. 234–236.

Влияние магнитной бури на метод высокоточного позиционирования Real Time Kinematic

Федоров М. Э.

Иркутский государственный университет путей сообщения, Иркутск,
Россия

metalgear@inbox.ru

В данной статье показано применение метода коррекции координат Real Time Kinematic (RTK) в условиях магнитной бури. Описаны основные принципы метода RTK. Представлены данные эксперимента, в котором показан эффект магнитной бури 10-12 мая 2024 года на метод точного позиционирования RTK полученных по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) GPS, ГЛОНАСС и их комбинаций. В заключении сделан вывод о влиянии магнитной бури на метод высокоточной навигации RTK.

Введение

Современные методы высокоточной навигации основаны на измерении фазы несущей спутниковых сигналов [1]. Приемники спутниковых систем радионавигации (СРНС) позволяют регистрировать данные со спутников с высокой частотой регистрации до 100 Гц. [2]. Высокая частота измерений делает приемники СРНС чувствительными к мелкомасштабным возмущениям в ионосфере, что приводит к появлению в спектре шумов измерения фазы несущей компоненты, связанной с неоднородностями в ионосфере [3], из этого можно сделать вывод, что в условиях возникновения событий провоцирующих появление неоднородностей в ионосфере усиливается шум измерений фазы несущей. Шум измерений фазы в свою очередь будет оказывать влияние на точность измерения фазы, что может повлиять на методы высокоточного определения координат.

Метод RTK

Метод RTK заключается в разностной обработке измерений фазы несущей спутниковых сигналов на двух частотах (L1 и L2). В RTK используются два навигационных приемника один из них становится «базой» - неподвижной точкой с хорошо известными координатами. Второй приемник выступает в роли «ровера» координаты «ровера» корректируются при помощи поправок с «базы». Точность метода RTK достигает до 1 см в плане и 2 см по высоте. Такая точность достигается за счет устранения большинства погрешностей измерения дальности до спутника по измерениям фазы, которая описывается выражением:

$$\Phi = r + c(\delta t_r - \delta t^s) - I + T + \lambda N + \varepsilon \quad (1)$$

где r — расстояние от спутника до приемника, $(\delta t_r, \delta t^s)$ — ошибки часов приёмника и спутника, I, T — ионосферная и тропосферная задержки, λ —

длина волны несущей, N — неоднозначность измерения фазы, ε — неучтённый шум фазовой несущей.

Компоненту ε можно представить как сумму немоделируемых шумов фазы несущей, включая: ионосферные амплитудные и фазовые мерцания, быстрые фазовые вариации в тропосфере, аномалии генератора спутника, тепловые шумы ГНСС-приемника, девиацию Аллана и вибрационно-индуцированные шумы. Основным подход RTK заключается в нахождении разностей измерения дальности на «ровере» и «базе»:

$$\Delta \nabla \Phi = (\Phi_{rover}^i - \Phi_{base}^i) - (\Phi_{rover}^j - \Phi_{base}^j) \quad (2)$$

Ошибки ГНСС (ионосфера, тропосфера, эфемериды, часы спутников) как правило коррелированы для близко расположенных приемников. Подставив выражение (1), получим:

$$\nabla \Delta \Phi = \nabla \Delta r + \lambda \nabla \Delta N + \nabla \Delta \varepsilon \quad (3)$$

где $\nabla \Delta r$ -двойная разность дальномерных погрешностей от спутника до приемника; $\nabla \Delta N$ -двойная разность неоднозначностей определения фазы; $\nabla \Delta \varepsilon$ -остаточный шум измерений.

Из этого следует что поправка в методе RTK зависит от геометрии спутников, решения неоднозначности определения фазы и шумов измерений. В таком случае усиление шумов измерений, связанных с мелкомасштабными неоднородностями, может повлиять на точность метода RTK.

Общие сведения о пакете RTKLIB

Одним из инструментов для применения RTK является пакет RTKLIB. RTKLIB — это программа с открытым исходным кодом для стандартного и точного позиционирования с помощью ГНСС. RTKLIB состоит из библиотеки программ и нескольких APS (прикладных программ), использующих библиотеки. RTKLIB позволяет реализовывать алгоритмы стандартного и точного позиционирования с помощью ГНСС: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, QZSS, BeiDou и SBAS. RTK LIB обрабатывает файлы в формате RINEX на выходе формирует файл навигационного решения со скорректированными координатами для ровера.

Условия проведения эксперимента

Был проведен анализ данных полученных приемниками ГНСС 11 мая 2024 года во время мощной магнитной бури 10-12 мая 2024. На рисунке 1 приведены основные параметры магнитной бури. Индексы геомагнитной активности и параметры солнечного ветра 10-12 мая 2024 года: (а) Индекс Кр, (б) индексы Dst (красный) и SYM-H (черный). Вертикальные линии указывают на внезапное начало геомагнитной бури в 16:40 по восточному времени (серая пунктирная линия), начало основной фазы в 18:00 по

восточному времени (синяя сплошная линия) и начало восстановительной фазы в 02:15 по восточному времени (синяя пунктирная линия).

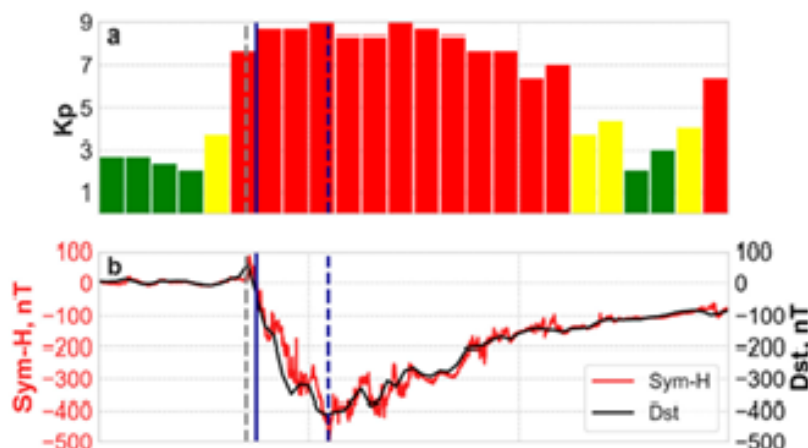


Рисунок 1. Геомагнитные условия во время магнитной бури

Вертикальные линии указывают на внезапное начало геомагнитной бури в 16:40 по восточному времени (серая пунктирная линия), начало основной фазы в 18:00 по восточному времени (синяя сплошная линия) и начало восстановительной фазы в 02:15 по восточному времени (синяя пунктирная линия). Исследование проводилось в период 2:00 -3:00 по UT 11 мая 2024 так как в этот период $K_p = 9$ максимальный, а $Dst = -420$ нТ минимальный. Для сравнения результатов также был проведен расчет по методу RTK для спокойного дня 2:00 -3:00 по UT 8 мая 2024 ($K_p = 1$)

Для реализации метода RTK требуется два приемника ровер и база были выбраны две пары приёмников с короткой и длинной базой между ними в таблице 1 приведены характеристики используемых приемников.

Таблица 1

Характеристики приёмников

Роль	Станция	Производитель	Временное разрешение	Расстояние база ровер	Координаты Lat/Lon
ровер	ISTP	Javad	0.04с (25Гц)	-	52.24° N /104.26° E
база	GEO	Topcon	1с (1 Гц)	2.4 км	52.23° N/104.29° E

Результаты обработки

Данные с базы и ровера в формате RINEX обрабатывались программой RTK LIB и после получения файла со скорректированными по методу RTK координатами производилась оценка качества коррекции по значению погрешности определения координат на плоскости sd_H которая рассчитывалась по формуле

$$sd_H = \sqrt{sd_n^2 + sd_e^2} \quad (4)$$

где sd_n – погрешность измерений по широте, sd_e – погрешность измерений по долготе. Расчёт проводился для сигналов ГНСС GPS, ГЛОНАСС и их комбинации. На рисунках 2 и 3 красным цветом показано значение sd_H от времени наблюдения. Черной пунктирной линией показано количество наблюдаемых спутников. На панели сверху показан график для спокойного дня на панели снизу для магнитной бури.

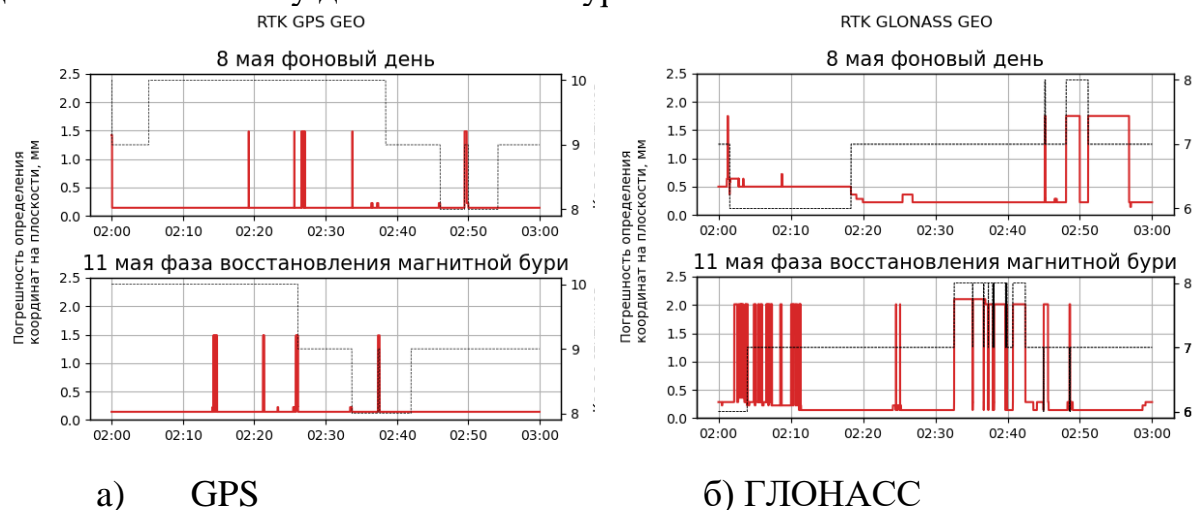


Рисунок 2. Зависимость погрешности определения координат на плоскости для разных ГНСС в режиме RTK для короткой базы (2,4 км)

В режиме RTK система GPS (рисунок 2 а)) показывает стабильность в оба дня наблюдений, а система ГЛОНАСС (рисунок 2 б)) напротив оказывается чувствительна к магнитным возмущениям это можно наблюдать по большому количеству всплесков увеличения погрешности определения координат.

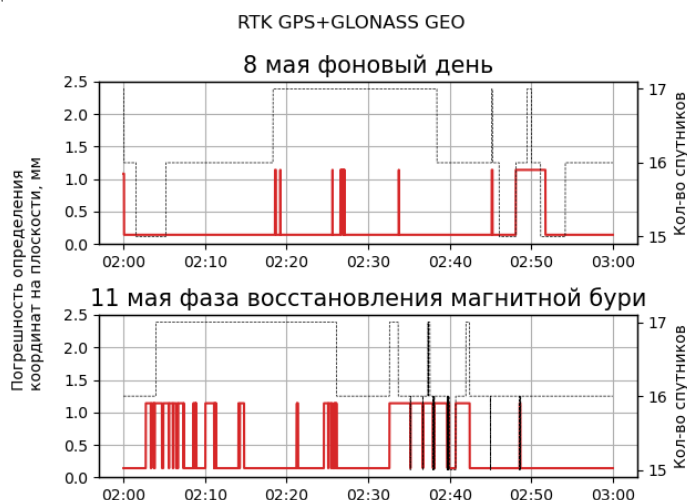


Рисунок 3. Зависимость погрешности определения координат на плоскости для комбинации ГНСС GPS + ГЛОНАСС в режиме RTK для короткой базы (2,4 км)

Количество спутников системы GPS в оба наблюдаемых дня от 8 до 10 для ГЛОНАСС число спутников ниже (от 6 до 8) что может оказывать влияние на определение координат, однако из рисунка 2 б нижняя панель видно, что скачки погрешности наблюдаются даже при максимальном возможном числе спутников.

В режиме комбинации GPS и ГЛОНАСС (рисунок 3) мы видим результат сложения погрешностей двух систем, это приводит к уменьшению среднего значения ошибки, однако, не меняет их время появления и характер. Неожиданный факт заключается в том, что количество спутников отличается от суммы максимального и минимального количества, показанного в отдельных измерениях.

Заключение

Мощная магнитная буря может повлиять на точность метода RTK особенно это может сказаться на качестве корректирующих поправок полученным по измерениям фазы несущей спутникового сигнала ГНСС ГЛОНАСС. Комбинированный прием показал двойные результаты с одной стороны на короткой базе были скомпенсированы выбросы системы GPS, однако к ним были добавлены погрешности ГЛОНАСС. Также стоит отметить неспособность программного обеспечения RTK LIB работать с данными записанными с высоким временным разрешением 50 Гц. RTK LIB является верифицированным и широко применяющимся инструментом обработки, который однако не поддерживает работу с данными записанными с высокой частотой. Для дальнейшего исследования влияния геомагнитных влияний на метод RTK следует произвести анализ инструментов способных проводить обработку высокочастотных данных ГНСС.

Благодарности

Выражаю благодарность за безвозмездное предоставление данных ООО «ГЕОСТРОЙИЗЫСКАНИЯ» сайт: <https://www.gsi.ru>

Список литературы

1. Real-time GNSS precise positioning: RTKLIB for ROS/António F., Matias B., Almeida J., Silva E. // Int. J. of Adv. Robotic Systems. 2020. Vol. 17. DOI:10.1177/1729881420904526.
2. Moschas F. PLL bandwidth and noise in 100 Hz GPS measurements / Moschas F., Stiros S. // GPS Solut. 2015. Vol. 19. P. 173–181. DOI:10.1007/s10291-014-0378-4.
3. Monitoring of global ionospheric irregularities using the worldwide GPS / Pi X., Mannucci A.J., Lindqwister U.J., Ho C.M. // Geophys. Res. Lett. 1997. Vol. 24. P. 2283–2286. DOI:10.1029/97GL02273.

Комплексное изучение спектральных характеристик электростатических колебаний и распределений ионов по энергиям в плазме $E \times B$ -разряда при изменении магнитного поля

Чернова А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
anastaziachernovaa@gmail.com

Выявлена взаимосвязь между спектрами электростатических колебаний тока ионов и разрядного тока при вариации магнитного поля в плазме разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях. Низкочастотные компоненты (160–280 кГц) производной разрядного тока и высокочастотные колебания ионного тока (8–27 МГц) по-разному реагируют на изменение магнитного поля. Изменение амплитудно-частотных характеристик коррелирует с изменениями энергетических распределений и плотности ионов. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации плазменных технологий и дальнейшего изучения плазменных систем.

Введение

Исследование физики плазменных разрядов в газах необходимо для понимания процессов, происходящих и в различных технологических плазменных системах. Заметное внимание уделяется изучению взаимодействия электростатических колебаний с ионами, влиянию магнитного поля на характеристики плазмы, включая распределение ионов по энергии и динамику плазмы. Анализ этих процессов требует учета многих факторов.

Целью данной работы является определение взаимосвязи между колебаниями производной разрядного тока, тока ионов и распределением ионов по энергии с плазменными электростатическими колебаниями в диапазоне 20 кГц – 30 МГц в $E \times B$ -разряде при вариации магнитного поля. Для этого была проведена обработка данных экспериментальных измерений и их интерпретация.

Экспериментальная установка и средства диагностики

Плазма генерировалась в ускорителе с анодным слоем (УАС), в котором магнитное поле создавалось с помощью двух аксиально расположенных катушек; плазмообразующий газ – аргон.

Исследование плазменных колебаний осуществлялось с применением бесконтактных методов диагностики. Возмущения разрядного тока находились посредством измерения его производной с использованием индукционного датчика – пояса Роговского без интегрирующей цепи, установленного вблизи анода в цепи питания анод–катод УАС. В рамках исследования предполагалось, что в случае гармонических колебаний частотные характеристики тока и его производной совпадают. Параллельно

регистрировалась переменная составляющая колебаний ионного тока. Сигнал с коллектора энергоанализатора ионов, работающего на принципе задерживающего потенциала, подавался на вход осциллографа через экранированный разделительный трансформатор. Оба сигнала – производной разрядного тока и ионного тока записывались одновременно на разных каналах цифрового осциллографа с развертками 100 мкс/дел или 2,5 мкс/дел.

Обработка полученных данных выполнялась с применением специализированного программного обеспечения, разработанного для данного исследования. Программа обеспечивала визуализацию осциллограмм и расчет спектральных характеристик плазмы с применением методов быстрого преобразования Фурье (БПФ) и эмпирической модовой декомпозиции (ЭМД) [1,2].

Измерение спектров электростатических колебаний

Спектральный анализ колебаний производной разрядного тока в плазме аргона показал, что при всех исследованных значениях магнитного поля доминирующие частоты – с максимальными амплитудами локализованы в диапазоне 160-280 кГц (рис. 1). Однако при превышении порогового значения магнитной индукции ($B_{rA} \geq 720$ Гс) наблюдается расширение спектрального диапазона доминирующих колебаний. В частности, в интервале 820-910 Гс на амплитудно-частотных характеристиках регистрируются дополнительные пики в области 680-720 кГц, амплитуда которых на порядок ниже по сравнению с основными низкочастотными компонентами (рис. 2).

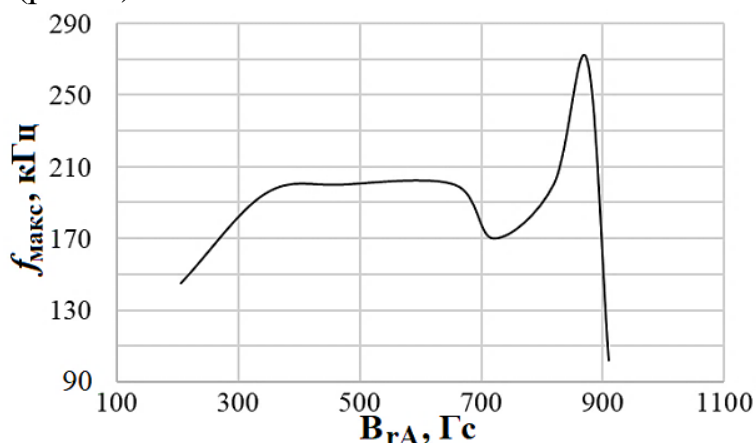


Рисунок 1. Частоты колебаний производной разрядного тока, имеющие максимальную амплитуду, в зависимости от магнитного поля: $U_d = 1100$ В, $q_{Ar} = 16$ ст. см³/мин.

На рисунке 3 показаны фрагменты осциллограмм производной разрядного тока в рассматриваемом эксперименте. При индукции магнитного поля $B_{rA} \leq 660$ Гс наблюдаются «периодические» колебания с чёткой регулярной структурой, на которые накладываются высокочастотные колебания. Однако при дальнейшем увеличении магнитного поля условия

горения плазменного разряда изменяются и регулярность исчезает; амплитуда начинает сильно флуктуировать, а частота колебаний становится нестабильной во всём исследуемом диапазоне. Появляются «новые гармоники» – колебания в более высокочастотном диапазоне (680–720 кГц).

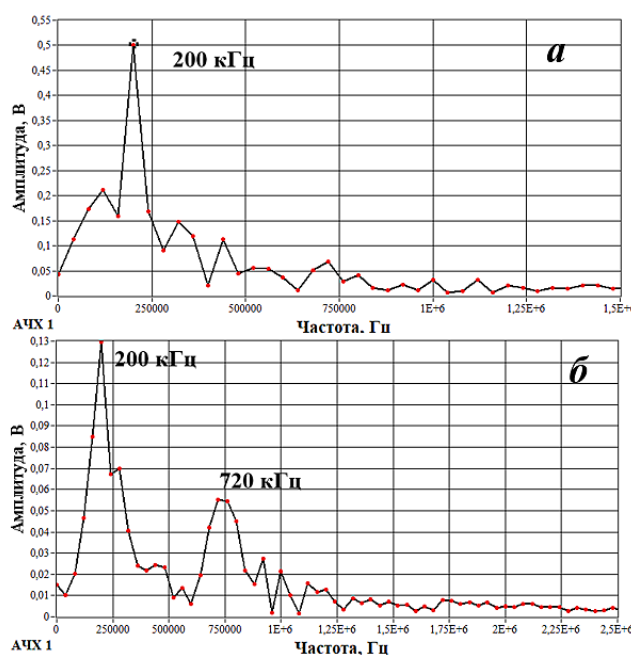


Рисунок 2. Пример АЧХ сигнала производной разрядного тока при: а – $B_{rA} = 340$ Гс; б – $B_{rA} = 820$ Гс; $U_d = 1100$ В, $q_{Ar} = 16$ ст. см³/мин.

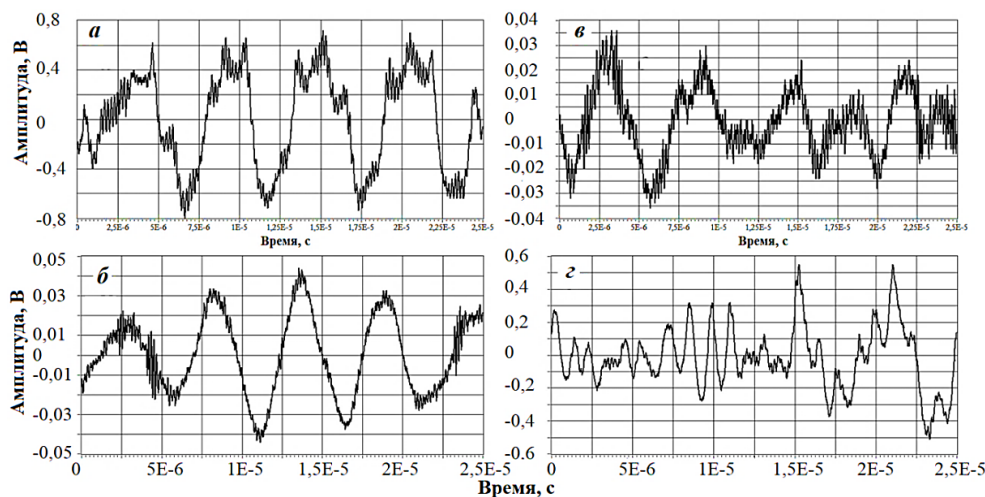


Рисунок 3. Фрагменты осциллограмм сигналов с пояса Роговского: а, б – регулярные сигналы при значениях магнитного поля $200 \text{ Гс} \leq B_{rA} \leq 660 \text{ Гс}$; в, г – сигнал при $720 \text{ Гс} \leq B_{rA} \leq 910 \text{ Гс}$.

При малых и средних значениях магнитного поля ($B_{rA} \leq 660$ Гс) разрядный ток демонстрирует устойчивые периодические колебания. Но при превышении критического значения B_{rA} система переходит в нерегулярный режим, что может быть связано с развитием плазменных

неустойчивостей или изменением механизмов переноса заряда в скрещенных полях [3,4].

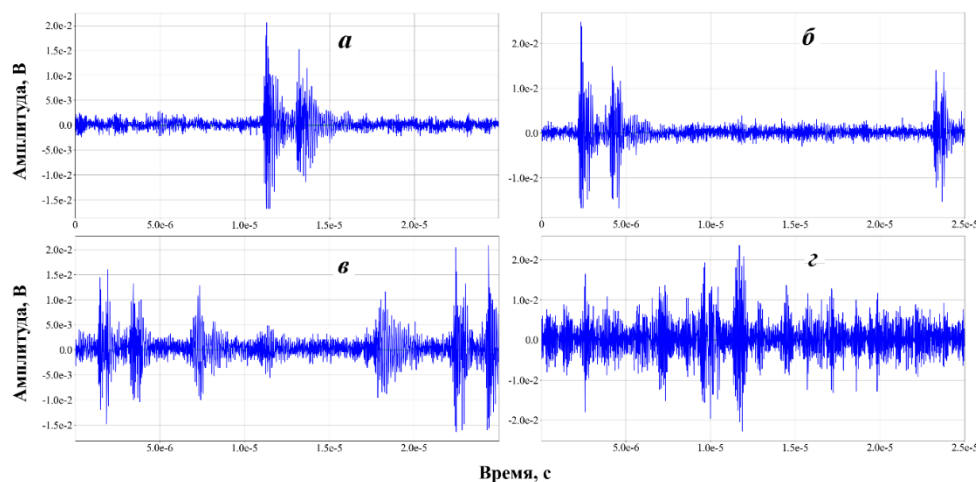


Рисунок 4. Фрагменты осциллограмм сигналов тока ионов: а, б – при значениях магнитного поля $470 \text{ Гс} \leq B_{rA} \leq 660 \text{ Гс}$; в, г – сигнал при $720 \text{ Гс} \leq B_{rA} \leq 870 \text{ Гс}$.

Сигналы тока ионов, в свою очередь, не обладают регулярной структурой, но имеют всплески амплитуды, характер которых изменяется при вариации магнитного поля. При умеренных магнитных полях $B_{rA} < 660 \text{ Гс}$ преобладают 2 основных типа импульсов с различной амплитудой; фоновая составляющая сигнала относительно стабильна (рис. 4а, 4б). Режим сильных магнитных полей ($720 \text{ Гс} \leq B_{rA} \leq 870 \text{ Гс}$, рис. 4в, 4г) характеризуется существенным усложнением динамики ионного тока: с ростом магнитной индукции наблюдается увеличение количества высокоамплитудных всплесков, формирование множественных импульсных структур с нерегулярной периодичностью, а также значительное возрастание уровня высокочастотных колебаний.

Сопоставление осциллограмм на рис. 3 и 4 выявляет существенные различия в поведении производной разрядного тока и тока ионов при изменении магнитного поля. При значениях $B_{rA} \leq 660 \text{ Гс}$ (рис. 3а, 3б и 4а, 4б) оба типа сигналов демонстрируют относительно упорядоченную структуру: производная тока сохраняет четкую периодичность, в то время как ток ионов характеризуется биполярными всплесками с преобладанием двух основных компонент. Однако при превышении критического значения $B_{rA} \approx 660 \text{ Гс}$ наблюдается качественное изменение динамики плазменных колебаний.

Переход к сильным магнитным полям приводит к синхронной трансформации обоих сигналов, хотя и с различными проявлениями. Производная тока (рис. 3в, 3г) теряет периодичность и приобретает выраженный хаотический характер, тогда как ток ионов (рис. 4в, 4г) демонстрирует усложнение структуры с появлением множественных

высокоамплитудных всплесков и усилением высокочастотной составляющей. Такое поведение может быть объяснено развитием дрейфовых неустойчивостей и переходом к турбулентному режиму, при котором увеличение магнитного поля вызывает:

- нарушение пространственной когерентности плазменных структур;
- модификацию механизмов переноса заряда в приэлектродных областях;
- усиление нелинейного взаимодействия волн в плазме [5].

Особенно показательно, что критическое значение магнитного поля (около 660 Гс), при котором наблюдаются качественные изменения в динамике сигналов, совпадает для обоих типов измерений. Это свидетельствует о глобальном характере происходящих в плазме изменений и подтверждает теоретические предсказания о переходных режимах в $E \times B$ -разрядах [6].

Спектральный анализ выявил принципиальное различие в частотных характеристиках колебаний ионного тока и производной разрядного тока. В отличие от низкочастотных колебаний (160–280 кГц), наблюдаемых для производной разрядного тока, ионный ток демонстрирует выраженные высокочастотные компоненты в мегагерцовом диапазоне. Экспериментальные данные показывают четкую кластеризацию спектра ионного тока с тремя доминирующими частотными областями: (1) 8–9 МГц, (2) 17–19 МГц и (3) около 27 МГц (рис. 5). Примечательно, что в кГц-диапазоне, характерном для колебаний производной разрядного тока, значимые электростатические колебания ионного тока не обнаруживаются.

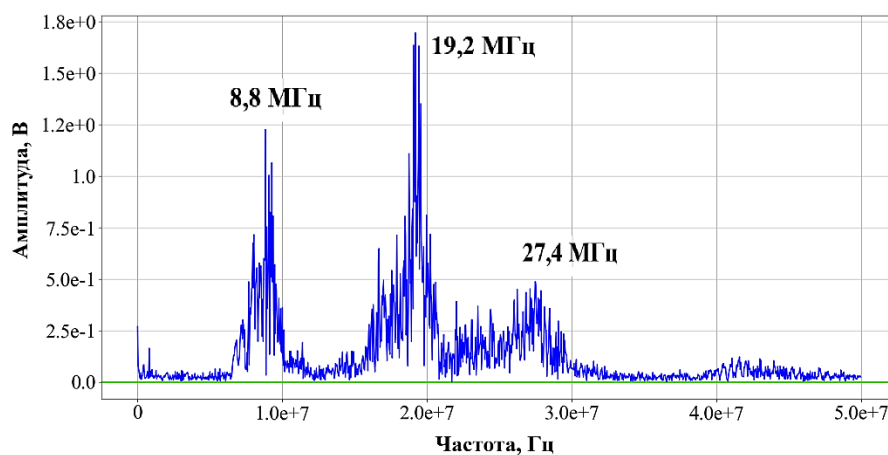


Рисунок 5. Пример АЧХ сигнала ионного тока при $B_{rA} = 340$ Гс; $U_d = 1100$ В, $q_{Ar} = 16$ ст. см³/мин.

Рассмотрение спектральных характеристик ионного тока выявило отсутствие универсального частотного кластера с максимальной амплитудой для всех исследованных значений магнитного поля (рис. 6). Наблюдается четкая зависимость доминирующего частотного диапазона от величины магнитной индукции: при переходе от 340 Гс к 470 Гс частота

колебаний максимальной амплитуды уменьшается с 17–20 МГц к 8–9 МГц и сохраняется при увеличении магнитного поля вплоть до 870 Гс, где она возвращается к более высоким значениям (17–20 МГц).

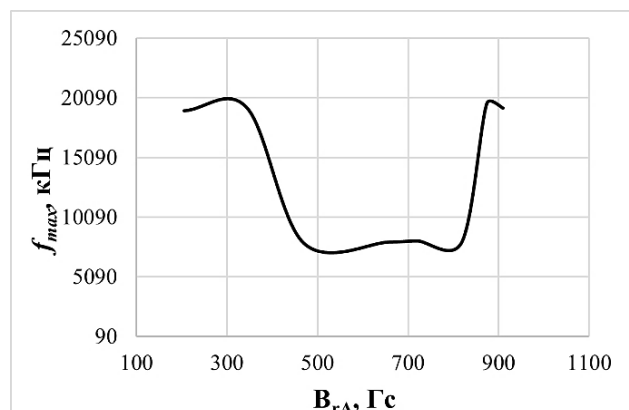


Рисунок 6. Частоты колебаний тока ионов, имеющие максимальную амплитуду, в зависимости от магнитного поля: $U_d = 1100$ В, $q_{Ar} = 16$ ст. см³/мин.

Анализ распределений ионов по энергии и плотности ионов при различных магнитных полях

Магнитное поле (эффект Холла) значительно влияет на траектории движения ионов в плазме. Это явление особенно актуально в условиях $E \times B$ разряда, где электрическое и магнитное поля скрещенные [7]. Как показано в работах [8,9], холловский дрейф приводит к формированию немонотонных энергетических распределений вследствие:

- 1) неоднородного ускорения в скрещенных полях;
- 2) кулоновских столкновений с частотой $\nu \approx 10^6$ с⁻¹ для аргоновой плазмы [10].

На рис. 7 представлены графики распределения ионов по энергиям в плазме аргона. Анализ выявил три характерных режима: при малых магнитных полях, оптимальный и при больших магнитных полях. При $B_{rA} \approx 340$ Гс энергия максимума распределения $W \approx 650$ эВ. Ширина распределения на половине максимума интенсивности равна $FWHM \approx 120$ эВ. Такой энергетический разброс свидетельствует о преобладании упорядоченного $E \times B$ -дрейфа и слабом влиянии турбулентности [1]. Для оптимального режима характерно узкое распределение ($FWHM \approx 80$ эВ) и пик энергии 690 эВ при 470 Гс. Такое поведение объясняется формированием устойчивой холловской конфигурации, где магнитное поле эффективно удерживает плазму, минимизируя потери энергии [7]. При этих двух режимах плотность ионов возрастает на 60% (рис. 8).

При больших магнитных полях ($B_{rA} \approx 930$ Гс), в свою очередь, наблюдается сдвиг пика распределения до 770 эВ и уширение спектра до 150 эВ, что может быть связано с развитием ионно-звуковой

турбулентности [11]. В то же время после порогового значения магнитного поля (660 Гс) плотность ионов падает, что может подтверждать развитие неустойчивостей в плазме.

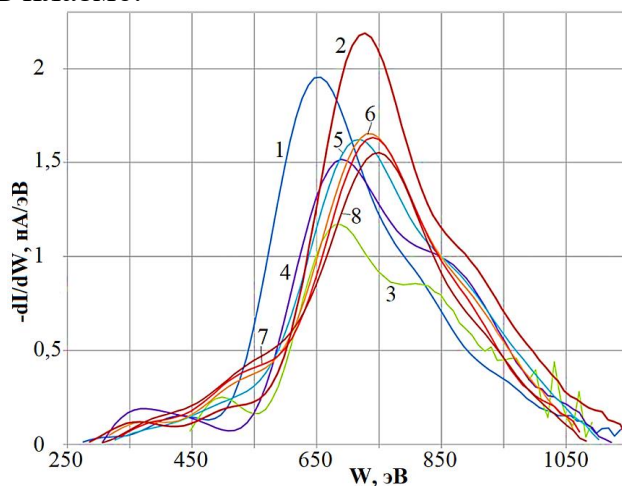


Рисунок 7. Распределение ионов по энергии: 1 – $B_{rA} = 340$ Гс; 2 – 470 Гс; 3 – 660 Гс; 4 – 720 Гс; 5 – 820 Гс; 6 – 870 Гс; 7 – 910 Гс; 8 – 930 Гс. $U_d = 1100$ В, $q_{Ar} = 18$ ст. см³/мин.

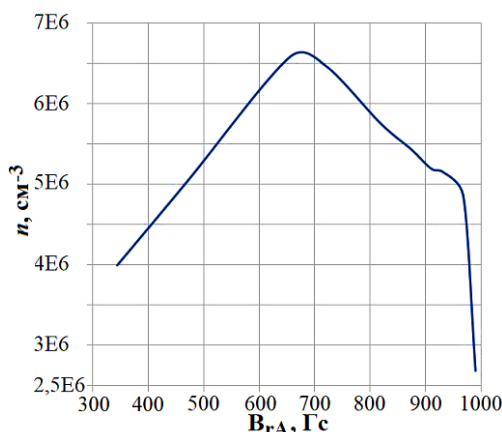


Рисунок 8. Плотность ионов; соответствует спектрам, приведенным на рис. 7; $U_d = 1100$ В, $q_{Ar} = 18$ ст. см³/мин.

Заключение

Проведенное комплексное исследование характеристик плазмы $E \times B$ -разряда при изменении магнитного поля позволило установить взаимосвязанную систему физических явлений, определяющих поведение плазменной системы. Результаты демонстрируют последовательную цепь изменений. Экспериментально подтверждено существование критического значения магнитного поля (~660 Гс). Ниже этого порога система демонстрирует устойчивые периодические колебания и упорядоченную структуру, характерную для стабильного $E \times B$ -дрейфа. Превышение этого порогового значения приводит к качественной трансформации системы: наблюдаются потеря пространственной когерентности, развитие турбулентных флуктуаций, уширение энергетических спектров и снижение

плотности плазмы, что свидетельствует о переходе в режим развитой турбулентности [12].

Особый интерес представляет выявленная взаимосвязь между различными характеристиками плазмы. Спектральный анализ показал, что низкочастотные компоненты (160–280 кГц) производной разрядного тока и высокочастотные колебания ионного тока (8–27 МГц) по-разному реагируют на изменение магнитного поля, отражая, соответственно, глобальные и локальные процессы в плазме. При этом модификация спектральных характеристик коррелирует с изменениями энергетических распределений и плотности ионов, образуя целостную картину трансформации плазменных параметров. Полученные результаты согласуются с современными представлениями о физике $E \times B$ -разрядов и развитии плазменных неустойчивостей.

Полученные результаты требуют дальнейшего исследования с привлечением современных моделей плазменной турбулентности для более детального описания наблюдаемых эффектов.

Список литературы

1. Kurzyna J. Spectral analysis of Hall-effect thruster plasma oscillations based on the empirical mode decomposition / Kurzyna J., Mazouffre S., Lazurenko A., Albaredo L., Bonhomme G., Makowski K., Dudeck M., Peradzynski Z. // *Phys. Plasmas*. 2005. – V. 12. – 123506.
2. Marusov N.A. Gradient-drift instability applied to Hall thrusters / Marusov N.A., Sorokina E.A., Lakhin V.P., Ilgisonis V.I., Smolyakov A.I. // *Plasma Sourc. Sci. Technol.* 2019. – V. 28. – 015002.
3. Boeuf J.-P. Physics and instabilities of low-temperature $E \times B$ plasmas for spacecraft propulsion and other applications / Boeuf J.-P., Smolyakov A. // *Phys. Plasmas*. 2023. – V. 30. – 050901.
4. Boeuf J.-P. Physics and instabilities of low-temperature $E \times B$ plasmas for spacecraft propulsion and other applications / Boeuf J.-P., Smolyakov A. // *Physics of Plasmas*. 2023. – V. 30. – 05901.
5. Lieberman M.A. Principles of Plasma Discharges and Material Processing / Lieberman M.A., Lichtenberg A.J. // Wiley. – 2005. – p. 749.
6. Choueiri E.Y. Plasma oscillations in Hall thrusters // *Phys. Plasmas*. 2001. – V. 8. – P. 1411-1426.
7. Morozov A.I. Fundamentals of stationary plasma thruster theory / Morozov A.I., Savel'yev V.V. // *Reviews of Plasma Physics*. 2000. – V. 21. – P. 203.
8. Barral S. Low-frequency model of breathing oscillations in Hall discharges / Barral S., Ahedo E. // *Phys. Rev.* 2009. – V. E79. – 046401.
9. Ellison C.L., Raites Y., Fisch N.J. Plasma turbulence in Hall thrusters // *Phys. Plasmas*. 2012. – V. 19. – 013503.
10. Есипчук Ю.В. Дрейфовая неустойчивость плазмы в УЗДП / Есипчук Ю.В., Тилинин Г.Н. // *ЖТФ*. 1976. – Т. 46. – С. 718-729.
11. Litvak A.A. Experimental studies of high-frequency azimuthal waves in Hall thrusters / Litvak A.A., Raites Y., Fisch N.J. // *Phys. Plasmas*. 2004. – V. 11. – P. 1701-1705.
12. Lazurenko A. High-frequency plasma oscillations in Hall thrusters / Lazurenko A., Mazouffre S., Dudeck M. // *Phys. Plasmas*. 2008. – V. 15. – 034502.

Разработка и исследование методов дистанционного мониторинга сетевого оборудования в образовательных учреждениях города Иркутска

Шолохов П.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
pssh01001@gmail.com

В статье рассматриваются особенности сетевой инфраструктуры в образовательных учреждениях города Иркутска и обосновывается необходимость внедрения систем мониторинга. Проведено анкетирование ИТ-специалистов из пяти школ и одного колледжа. На основе анализа собранных данных выявлены общие проблемы эксплуатации локальных сетей, включая отсутствие централизованного мониторинга, низкую степень автоматизации и кадровый дефицит. В качестве перспективного направления предложено внедрение мониторинга на основе протокола SNMP с использованием современных систем Zabbix, Nagios, Prometheus и Grafana.

Введение

Цифровизация образования требует не только наличия ИКТ-средств, но и стабильного функционирования всей ИТ-инфраструктуры. В последние годы значительно увеличилось количество цифровых сервисов, используемых в школах и колледжах: электронные дневники, платформы дистанционного обучения, облачные хранилища и сервисы видеоконференцсвязи. Все эти ресурсы зависят от надежной работы локальной сети. При этом, большинство учреждений не располагают достаточными ресурсами для постоянного ИТ-сопровождения. В таких условиях актуальным становится внедрение систем дистанционного мониторинга, позволяющих оперативно выявлять и устранять неполадки, контролировать состояние оборудования и обеспечивать высокую доступность сервисов [1].

Методика исследования

Для получения объективной картины текущего состояния сетевой инфраструктуры в образовательных учреждениях г. Иркутска было проведено анкетирование ИТ-специалистов. Опрос охватывал следующие блоки: описание топологии сети, типы оборудования, наличие серверов и систем хранения данных, наличие или отсутствие систем мониторинга, кадровое обеспечение ИТ-подразделений и существующие технические проблемы. В анкетировании приняли участие представители шести учреждений: школа №2, школа №5, школа №28, школа №80, лицей №1 и колледж культуры.

Результаты анкетирования

На основании проведённого анкетирования можно сделать вывод, что состояние сетевой инфраструктуры большинства образовательных учреждений города Иркутска остаётся недостаточно развитым. Применение недорогих маршрутизаторов, таких как TP-Link, MikroTik и D-Link, а также неуправляемых или простейших коммутаторов начального уровня L2 обусловлено ограничениями бюджета и отсутствием системного подхода к развитию ИТ-среды. Используемые Wi-Fi точки доступа преимущественно устаревшие, что не только ограничивает скорость и надёжность беспроводной связи, но и негативно влияет на стабильность всего сетевого взаимодействия. Серверные мощности представлены лишь в отдельных учреждениях, и даже там они редко используются как полноценные централизованные хранилища или контроллеры домена, что усложняет управление доступом и хранением учебных материалов.

В большинстве случаев системы автоматического мониторинга отсутствуют, а контроль состояния оборудования осуществляется вручную, либо реагирование на неполадки происходит только после возникновения проблем. Диагностика неисправностей часто осуществляется методом проб и ошибок, что приводит к затяжным простоям и снижению доступности образовательных сервисов. Характерно, что во многих учреждениях нет выделенного ИТ-специалиста, и обязанности по обслуживанию сети возлагаются на учителей информатики или других сотрудников, не имеющих профильной подготовки.

Показатели функционирования сети также указывают на наличие серьёзных затруднений: средняя загрузка в часы пик достигает 70–80%, а задержка отклика превышает 150–300 мс, особенно при активном использовании Wi-Fi. Это приводит к ухудшению качества доступа к образовательным платформам, снижению эффективности дистанционного обучения и увеличению числа сбоев при работе с видеоконференциями, электронными журналами и другими цифровыми сервисами.

Полученные результаты убедительно свидетельствуют о необходимости внедрения современных систем автоматического мониторинга, способных обеспечить проактивный контроль состояния инфраструктуры, своевременное оповещение о возникающих инцидентах и автоматическую диагностику причин сбоев. Такой подход позволит повысить устойчивость и управляемость ИТ-инфраструктуры образовательных учреждений, снизить нагрузку на ограниченный технический персонал и обеспечить стабильный доступ к цифровым образовательным ресурсам в условиях быстроразвивающейся цифровой трансформации образования.

Сравнительный анализ протоколов мониторинга

Для мониторинга состояния сетевого оборудования чаще всего применяются два протокола — ICMP и SNMP. ICMP (Internet Control Message Protocol) используется для проверки доступности узлов и измерения времени отклика (например, через утилиту ping). Он прост в реализации и применим даже в условиях ограниченной ИТ-поддержки, однако предоставляет крайне ограниченный объём информации — только факт доступности и задержку. Он не позволяет отслеживать параметры загрузки оборудования, ошибок передачи данных или других показателей, критически важных для устойчивой работы сети [2].

В отличие от ICMP, протокол SNMP (Simple Network Management Protocol) предоставляет значительно более широкий спектр возможностей для сбора информации о состоянии сетевого оборудования и его удалённого управления. С помощью SNMP можно получать детальные статистические данные о трафике на каждом интерфейсе, фиксировать наличие ошибок передачи, контролировать температуру и другие аппаратные параметры, а также отслеживать состояние портов и отдельных модулей устройства. Протокол поддерживается практически всеми современными сетевыми устройствами и легко интегрируется с популярными платформами мониторинга, такими как Zabbix, Nagios и Prometheus, что позволяет централизовать сбор, обработку и визуализацию данных. Благодаря этим возможностям SNMP становится оптимальным выбором для образовательных учреждений, где часто отсутствует развитая автоматизация, но требуется поддерживать стабильную и управляемую сетевую инфраструктуру [3].

Таким образом, SNMP является более предпочтительным протоколом для внедрения в образовательную ИТ-инфраструктуру, обеспечивая необходимый уровень детализации и автоматизации. В дальнейшем анализ систем мониторинга будет сосредоточен на решениях, поддерживающих SNMP.

Перспективные решения

На основании выявленных проблем и анализа протоколов мониторинга в качестве перспективных решений для образовательных учреждений города Иркутска можно рекомендовать внедрение современных систем мониторинга, таких как Zabbix, Nagios и связка Prometheus с Grafana. Внедрение подобных платформ предоставляет учреждениям не только базовые средства наблюдения за состоянием устройств, но и инструменты для построения собственных отчётов и анализа статистики инцидентов. За счёт гибкой настройки прав доступа и интеграции с различными системами оповещения, такие решения могут быть адаптированы под индивидуальные потребности каждого образовательного учреждения. Более того, централизованный характер

мониторинга существенно снижает требования к квалификации местного персонала, поскольку большинство задач по управлению и реагированию на инциденты может выполняться дистанционно опытными специалистами, например, в рамках муниципального или регионального центра поддержки.

Заключение

Проведённый анализ показал, что большинство образовательных учреждений г. Иркутска сталкиваются с типовыми проблемами, такими как отсутствие автоматизированного мониторинга, использование устаревшего оборудования и низкий уровень технической поддержки. Данные выводы основаны на результатах анкетирования, анализе текущего состояния инфраструктуры и изучении опыта внедрения систем мониторинга в аналогичных организациях. Теоретический и эмпирический анализ свидетельствует, что внедрение систем мониторинга на базе протокола SNMP и современных open-source решений может значительно повысить надёжность и эффективность управления ИТ-инфраструктурой образовательных учреждений. Такая мера позволяет своевременно обнаруживать и устранять сбои, снижать нагрузку на технический персонал и обеспечивать стабильную работу сетевых сервисов — что приобретает особую значимость в условиях активной цифровой трансформации образовательного процесса.

Список литературы

1. Исаев Д. А., Патаракин Е. Д. Цифровая трансформация образования: ИТ-инфраструктура и мониторинг // Информатика и образование. – 2021. – № 6. – С. 21–26.
2. Jacobson V., Postel J., Reynolds J. The Internet Control Message Protocol: RFC 792 [Электронный ресурс] / IETF. – 1981. – URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc792> (дата обращения: 16.05.2025).
3. SNMPv3. User-based Security Model (USM): RFC 3414 [Электронный ресурс] / IETF. – 2002. – URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc3414> (дата обращения: 16.05.2025).

Содержание

1. Аюшиев Б.А., Едемский И.К. Разработка метода коррекции модели нейтрального ветра НWM по оптическим наблюдениям в п. Торы	3
2. Белоусов А.А., Фискин Е.М. Проект: Разработка устройства поджига для мониторинга состояния квантрона александритового лазера	10
3. Билдаев И.В., Ишин А.Б. Влияние всплесков солнечного радиоизлучения и магнитных бурь на регистрацию сигналов ГНСС во время события мая 2024 г.	17
4. Гусаков С.И. Разработка детектора аэрозоля на базе лазерного датчика и микроЭВМ Raspberry PI	25
5. Добрынин В.А. Возможности применения Linux-микрокомпьютеров в области точных измерений	28
6. Дробышев А.В., Демин А.П. Использование оборудования Orion для контроля работоспособности аппаратуры связи	36
7. Жук С.П. Разработка системы самодиагностики для рентгеновского многоканального спектрометра СРМ-25	41
8. Зверев М.А., Падохин А.М. Исследование влияния неточности экспериментальных данных на результаты томографической реконструкций крупномасштабных ионосферных неоднородностей	45
9. Кетев В.В., Фискин Е.М. Особенности ремонта и обслуживания станков ЧПУ с системой управления типа “Fanuc”	53
10. Кичигин И.В., Ташлыков В.П., Лебедев В.П. Применение фильтра с подавлением боковых лепестков для повышения чувствительности измерений Иркутского радара некогерентного рассеяния	60
11. Климин С.В., Ишин А.Б., Билдаев И.В. Изучение ионосферных эффектов, вызванных запуском сверхтяжёлой космической ракеты Space X Starship 13 октября 2024 г, по данным ГНСС	67
12. Климов Н.Н., Козиенко Л.В., Чернов И.Н., Шурыгин С.А. Анализ неисправностей возникающих при эксплуатации волоконно-оптических линий связи	73
13. Козлов А.К., Казанцев В.А. Микроволновая радиометрия криосферных объектов с использованием БПЛА	79
14. Коркин И.А. Внедрение GPON в городе Томмот	85
15. Кузнецов А.Е. Исследование портативного электромиографа для спортивной медицины	90

16. Куприйчук В.А. Модернизация линии связи на участке от обзорного радиолокатора до дальней приводной радиостанции в аэропорту города Усть-Кута	96
17. Кучменов А.Х. Проектирование видеонаблюдения в зоне отдыха озера Иссык-Куль	101
18. Липунова К.В., Дмитриев А.А. Проектирование сети широкополосного доступа для поселка городского типа Пеледуй Республики Саха (Якутия)	105
19. Моисеев П.С., Ишин А. Б. Возможности модернизации сети внутренней телефонной связи для её нестандартного использования на Иркутском релейном заводе	109
20. Мухин Д.О. Фискин Е.М. Выбор оборудования и определение основных режимов ультразвуковой обработки эпоксидной смолы для нужд авиастроения	114
21. Николаев А.А., Фискин Е.М., Фискина М.М., Конопелько Д.В. Повышение точности измерения уровня воды Байкальской природной акватории	122
22. Никулин О.А., Дмитриев А.А. Проект строительства сети широкополосного доступа микрорайона Союз города Иркутска	130
23. Осипов К.А., Ишин А.Б. Метод обнаружения сверхслабых локальных возмущений ионосферы, вызванных пролётом МКС, по данным ГНСС-зондирования	134
24. Полубенцев А.А. Особенности лазерной дальнометрии в обсерватории «Бадары»	138
25. Продан П.Е., Книжсин С.И., Котов Д.В., Коваленко Д.Д. Измерение параметров сигнала низкоорбитальных спутников при помощи макета двухканального когерентного приемника на основе HackRF One	146
26. Ригин А.В., Строкин Н.А. Программное обеспечение плазменного эксперимента	152
27. Собенников О.В., Дмитриев А.А. Проект: Мониторинг основных физических параметров линейно-аппаратных залов сетевого узла связи № 12800	160
28. Соколов В.А., Тугов Д.А., Егоров В.Н. Резонансные частоты колебаний HEn11 и EHn11 в кольцевых диэлектрических резонаторах миллиметрового диапазона волн	167
29. Сороченко Н.Р., Просвирякова Л.В. Проект телевизионной передающей станции в отдалённых посёлках Магаданской области	171
30. Тугов Д.А., Соколов В.А., Егоров В.Н. Краевая емкость измерительного конденсатора по результатам эксперимента, расчетов и ее аппроксимация	177

31. *Уфимцев Е.В., Титовец И.А., Манушкин А.В.* Современные проблемы радиотехники, электроники и связи 183
32. *Федоров М. Э.* Влияние магнитной бури на метод высокоточного позиционирования Real Time Kinematic 187
33. *Чернова А.А.* Комплексное изучение спектральных характеристик электростатических колебаний и распределений ионов по энергиям в плазме E×B-разряда при изменении магнитного поля 192
34. *Шолохов П.С.* Разработка и исследование методов дистанционного мониторинга сетевого оборудования в образовательных учреждениях города Иркутска 200

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ**

Материалы XVII Всероссийской
научно-технической конференции
студентов, аспирантов и молодых ученых
(с международным участием)

(г. Иркутск, 22 мая 2025 г.)

Дата выхода в свет 16.12.2025.

Зак. 109. Поз. плана 20.

Усл. печ. л. 13,25.

Оригинал-макет подготовлен в типографии издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83

