



ИРКУТСКИЙ ПОЛИТЕХ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ



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

Иркутск
2024



**ИРКУТСКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

приоритет2030⁺
лидерами становятся

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ

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

(г. Иркутск, 16 мая 2024 г.)

Сборник материалов



ИЗДАТЕЛЬСТВО
Иркутского национального исследовательского технического
университета
2024



Рекомендовано к изданию редакционно-издательским советом ИРНИТУ

Современные проблемы радиоэлектроники и связи : материалы XVI Всероссий. научн.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с междунар. участием) (г. Иркутск, 16 мая 2024 г.). – Иркутск : Изд-во ИРНИТУ, 2024. – 226 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, АнгГТУ, 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.*

Источник питания со сложной формой выходного напряжения

**Качанов Б.Я., Блинов К.Ю., Блинов Ю.И., Любомиров А.М.,
Кошелев П.А.**

Санкт-Петербургский государственный электротехнический универси-
тет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)

*kachanov-boris@yandex.ru, kyblinov@mail.ru, yuri-50@mail.ru,
a_lioubomirov@mail.ru, KoshelevP@rambler.ru*

Источники питания применяются в различных промышленных и бытовых областях. Наиболее известны применения источников питания для снабжения нагрузок переменным или постоянным током. Однако в последние годы для питания электротехнологических нагрузок различного применения потребовалось иметь сложную форму выходного напряжения, содержащую как переменный, так и постоянный ток одновременно. Представлен один из таких источников питания и временные диаграммы, характеризующие его режим работы, что позволяет иметь дополнительное воздействие на технологическую зону обработки различных изделий.

Введение

Установки для разработки новых или модернизации старых электротехнологических процессов являются энергоемким оборудованием, единичная мощность которого может составлять от единиц до сотен киловатт. Доля электроэнергии, потребляемая электротехнологическими установками, постоянно увеличивается и сегодня составляет 25–30 % ее общего производства.

Назовем ряд электротехнологий, которые являются наиболее крупными потребителями электроэнергии: гальваника, индукционный нагрев под ковку, плавка металлов, плавка оксидов, диэлектрический нагрев различных материалов, плазменные электротехнологии, высокочастотная сварка, электродуговые технологии и др. При этом во всех перечисленных электротехнологиях используются установки, питающие нагрузку – технологическое звено – токами различных частот, начиная от нулевой частоты и до десятков мегагерц, с целью получения разнообразных технологических эффектов.

Одной из важных составляющих электротехнологической установки является источник питания (ИП). Причем в зависимости от типа электротехнологического процесса ИП могут выполняться на различной элементной базе. Однако основными элементами в ИП, охватывающими весь диапазон частот, являются тиристоры, транзисторы, генераторные лампы.

Современные электротехнологические процессы требуют создания ИП, способных выдерживать без аварийных режимов колебания нагрузки практически от холостого хода (ХХ) до короткого замыкания (КЗ). Создание таких ИП требует понимания теории их устойчивости при колебаниях нагрузки, а также возможности широкого исследования их работы совместно с технологическим звеном в соответствии с характеристиками самого технологического процесса. Эти исследования становятся возможными только при

широком использовании принципов математического моделирования на ЭВМ технологического процесса и самих схем ИП. Схемы ИП описываются системами дифференциальных уравнений (СДУ) высокого порядка с нелинейными коэффициентами. Исследование таких систем невозможно без математического моделирования на ЭВМ. Учет основных особенностей ИП требует создания современного аппарата их анализа в широком диапазоне изменения параметров нагрузки.

Таким образом, усилия, направленные на преодоление указанных проблем и решение поставленных задач, являются актуальными. Поэтому целями данной статьи являются изучение расширенных возможностей работы ИП на технологическую нагрузку с изменяющимися в широком диапазоне параметрами и определение режимов работы этих источников.

Источник питания и принцип его работы

Известны различные схемные решения создания высокочастотных (ВЧ) ИП [1]. Однако, в указанных известных схемных решениях невозможно получить на нагрузке постоянную составляющую напряжения с наложением на нее ВЧ переменной составляющей, т.к. во всех указанных схемах имеется путь для протекания постоянной составляющей входного тока от « + » источника постоянного напряжения к его « - » при представленной системе организации подачи импульсов управления на тиристоры.

На рис.1 [2] представлена схема рассматриваемого источника питания.

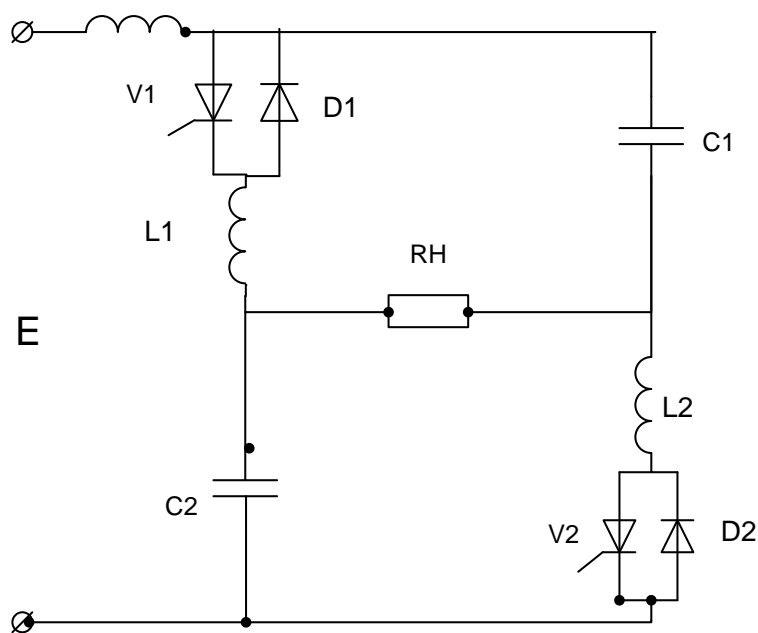


Рисунок 1. Схема источника питания

ИП работает следующим образом. Подается напряжение E на вход ИП (на диагональ моста) через входной дроссель L . Конденсаторы $C1$ и $C2$

заряжаются практически до уровня напряжения равного $E/2$. При этом на анодах тиристоров V1 и V2 появляется положительный потенциал.

В момент времени t_0 (фиг.2 а) подается импульс управления на тиристор V1 и он открывается. В контуре, содержащем V1- L1 - RH - C1, развивается колебательный процесс и через тиристор V1 протекает прямая полуволна тока (i_{V1}). В момент времени t_1 тиристор V1 выключается и включается обратный диод D1, через который и замыкается обратная полуволна тока (i_{D1}) в том же колебательном контуре. В момент времени t_2 диод D1 выключается и в схеме наблюдается пауза. При этом образуется контур для заряда конденсатора C1 от источника постоянного напряжения E, содержащий E – L - C1 - RH - C2.

На интервале времени $t_3 - t_6$ (фиг.2 б) происходит подзаряд конденсатора C1 от входа ИП.

В момент времени t_3 (фиг.2 б) (через период работы ИП) подается импульс управления на тиристор V2 и он открывается. В контуре, содержащем V2 - C2 - RH - L2, развивается колебательный процесс и через тиристор V2 протекает прямая полуволна тока (i_{V2}). В момент времени t_4 тиристор V2 выключается и включается обратный диод D2, через который и замыкается обратная полуволна тока (i_{D2}) в том же колебательном контуре. В момент времени t_5 диод D2 выключается и в схеме наблюдается пауза. При этом образуется контур для заряда конденсатора C2 от входных зажимов ИП, содержащий вход ИП-L-C1-RH-C2.

На интервале времени $t_0 - t_3$ происходит подзаряд конденсатора C2.

Таким образом, за счет установки обратных диодов D1 и D2 параллельно тиристорам V1 и V2 соответственно в плечи моста и подачи импульсов управления сначала на первый вход (Вх.упр.1) управления ИП, а затем через период – на второй вход (Вх.упр.2) управления ИП имеется только один путь для замыкания постоянной составляющей тока от входа ИП только через RH, что и вызывает наличие постоянной и переменной составляющих напряжения на нагрузке. Другими словами - на нагрузке RH появляется напряжение сложной формы (фиг.3), содержащее как переменную составляющую ВЧ напряжения, так и постоянную составляющую одновременно.

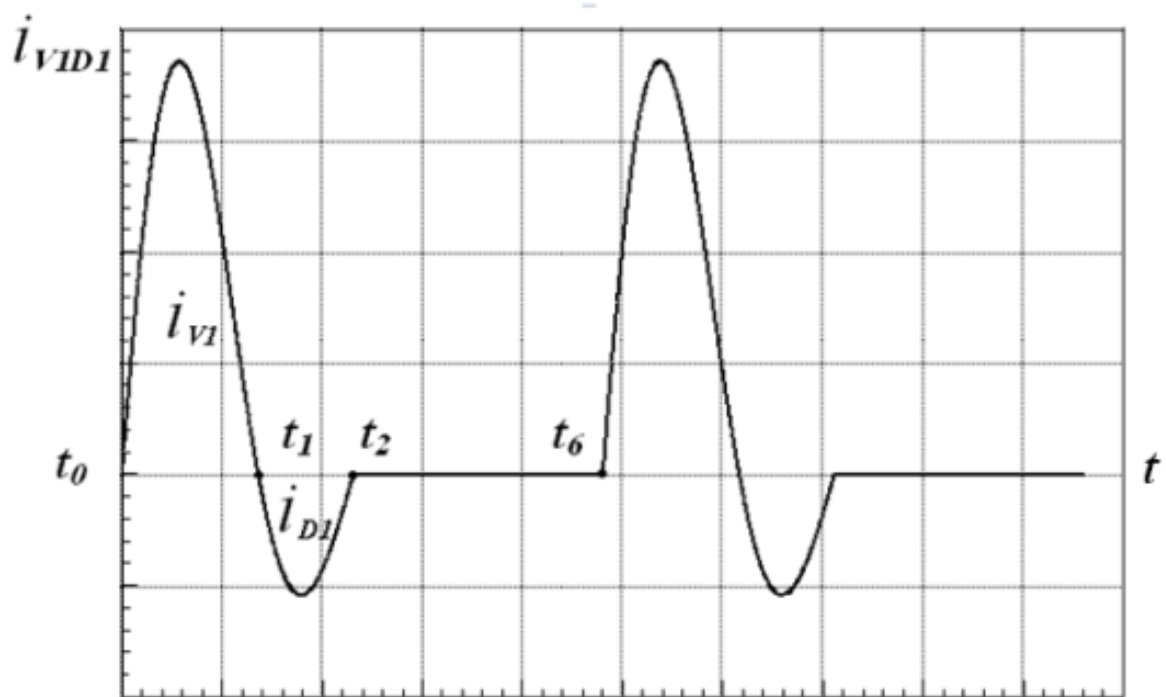


Рисунок 2а. Вентильный режим работы одной диагонали ИП

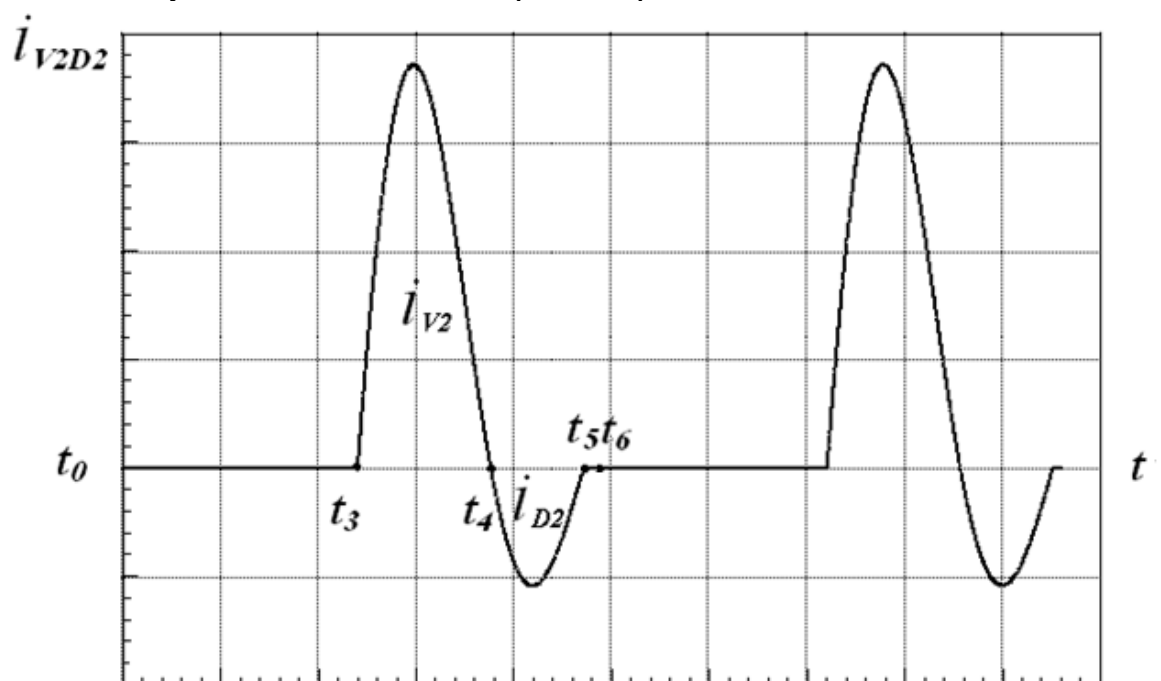


Рисунок 2б. Вентильный режим работы другой диагонали ИП

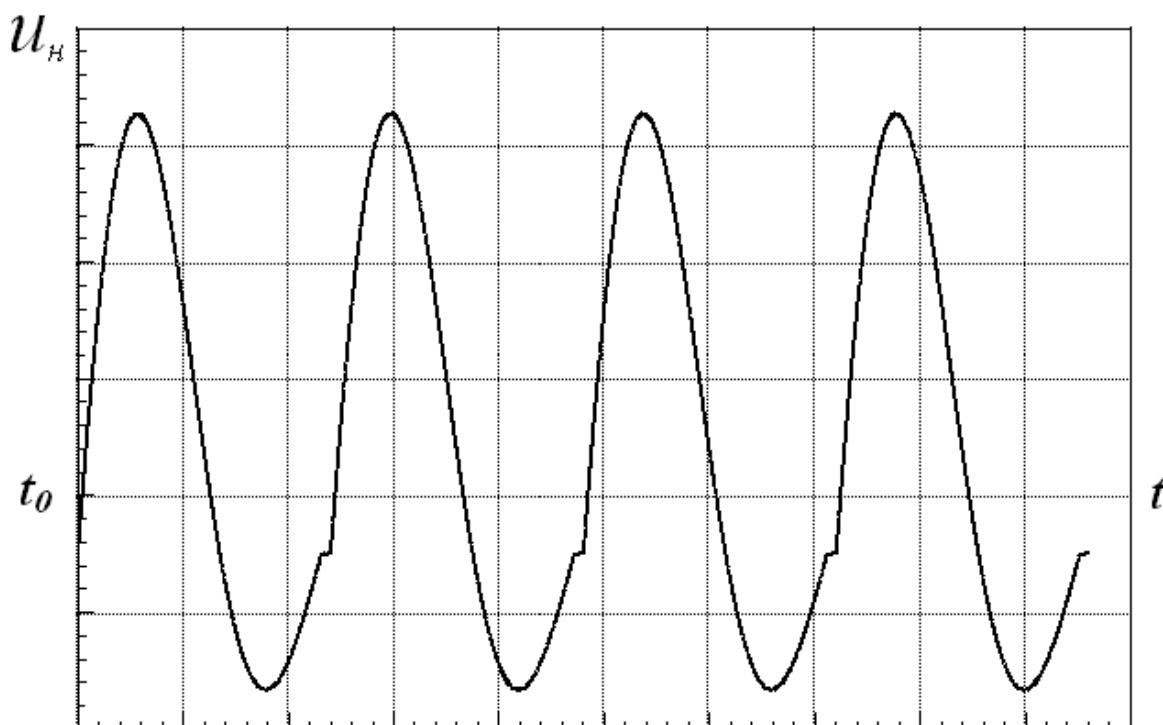


Рисунок 3. Напряжение на нагрузке

Заключение

В результате применения в видоизмененной полумостовой схеме инвертора с усовершенствованным алгоритмом подачи импульсов управления на тиристоры удалось получить на нагрузке сложную форму выходного напряжения, в состав которой входит постоянная и переменная составляющие сигнала.

Аналогичные ИП могут быть разработаны и на базе генераторных ламп, что позволит при плавке оксидов в холодных тиглях можно получить привлекательную гидродинамическую картину расплава [3] только, если добавить в состав ВЧ напряжения еще и постоянную составляющую данного параметра (напряжение или ток).

Список литературы

1. Беркович Е.И. и др., «Тиристорные преобразователи высокой частоты, Л., «Энергия», 1973 г.
2. Полезная модель к патенту 190313 - Источник питания, Бюл.18, 2019.
3. D.Hectors, K. Van Resel A sketch of reasoning about the calculation of liquid metal resistivity using levitation force measurement – Proceedings of Int.Symp. Heating by electromagnetic sources (HES-07), pp.453-458.

Рассмотрение метода декомпозиции, факторного анализа, формирование методологических выводов по размещению обзорных радиолокаторов

Гарагуль Ю. В., Горбачев И. В.

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
имени Главного маршала авиации А. А. Новикова
yuriygaragul@yandex.ru , gorbacheviv@spbguga.ru

Важная задача в гражданской авиации, заключается в постоянном контроле и наблюдением за воздушным пространством, вследствие чего возникают проблемы размещения и создания условий для функционирования обзорных радиолокаторов.

Введение

Специфика сложной и объемной задачи рационального размещения обзорных радиолокаторов позволяет использовать общесистемный принцип декомпозиции для разделения всего многообразия задачи на отдельные группы, которые можно решать независимо друг от друга [1].

Декомпозиция представляет собой метод разделения целого на части. Процесс основан на пути перехода от более важных до менее значимых задач.

Функциональная композиция – это процесс изучения и анализа отдельных частей, составляющих сложную процедуру. Когда крупная задача дробится на несколько частей для понимания процесса их выполнения.

Решение проблемы

Кроме этого, главная задача рационального размещения обзорных радиолокационных станций (ОРЛС) — это обеспечение непрерывного контроля воздушного пространства зоны ответственности.

Решение видится несколькими способами: интуитивное (привычное) и рациональное (алгоритмически обоснованное) решение.

Достичь максимальной эффективности решения рассматриваемой задачи невозможно без учета различных технических и экономических факторов. Это приводит к необходимости использования для решения организационных задач подобного рода общесистемных методов, позволяющих рассматривать проблему в комплексной постановке.

Исходя из идеологии общесистемных методов исследования больших систем, такая постановка задачи должна учитывать взаимосвязь и единство множества факторов [4].

Рассмотрим условно разделенные группы факторов:

1. Техничко-технологические факторы, характеризующие оборудование, средства, предметы труда, состав и технологию выполняемых работ. Эта группа факторов является определяющей для ОРЛС, поскольку их состояние и качество, степень использования, уровень автоматизации,

совершенство применяемых технологий напрямую влияют на операционную эффективность управления воздушным движением.

2. Организационно-управленческие факторы, приводящие в действие технико-технологическую базу (радиолокационные станции), службу эксплуатации радиотехнического оборудования и связи (ЭРТОС), благодаря формированию процессов обслуживания и ремонта, подбору персонала.

3. Финансово-экономические факторы функционирования предприятия по всему жизненному циклу ОРЛС с позиций эффективного распоряжения ресурсами, доходности и финансовой устойчивости.

4. Природно-географические факторы, заставляющие предприятие соответствующим образом выстраивать свою логистическую структуру, постоянно совершенствовать технологию производства, оптимизировать транспортные схемы перевозок, снижать энергоемкость.

5. Экологические факторы, состоящие из комплекса сложных технических и организационных задач, обусловленных необходимостью соблюдения экологических норм.

6. Отраслевые факторы, отражающие внешние условия функционирования организации, которые определяются потребностью в модернизации, совершенствовании и замене ОРЛС и его эксклюзивностью, конкурентоспособностью, общим уровнем соответствия отраслевой концентрации, специализации и кооперирования, качеством информационной базы управления, системой подготовки и повышения квалификации кадров, внедрением инноваций.

7. Рыночные факторы включают открытость доступа к рынку новых технологий ОРЛС.

Различные вышеуказанные группы и способы их учета отражают содержание организационных, технических и экономических моделей, на основе которых базируется комплексная постановка рассматриваемой проблемы.

Применительно к системам УВД (управление воздушным движением) совокупность организационных моделей должна охватывать в первую очередь задачи структурного синтеза системы УВД, рационального деления воздушного пространства, задачи организации УВД, выбора трасс, а именно размещения радиотехнических средств наблюдения в районе аэродрома. Задачи рационального размещения ОРЛС в центрах, границы которых заданы, могут рассматриваться в качестве частных для комплексной проблемы формирования потребностей в средствах обеспечения УВД.

Система технических моделей определяется совокупностью характеристик и условий эксплуатации ОРЛС. К ним относятся функции, характеризующие радиолокационные поля, которые в основном определяются путем разработки методик расчета дальности и вероятности обнаружения воздушного судна. Описание условий полного перекрытия трасс или объемов воздушного пространства зонами действия, обеспечения заданной

вероятности обнаружения воздушного судна на трассе, обслуживания ОРЛС - основа для разработки моделей показателей технической эффективности системы УВД, с помощью которых исследуется экономическая эффективность системы средств обеспечения УВД.

Такое исследование должно опираться на использование критерия комплексной экономической оценки, к которому предъявляются два основных требования - его связь с общественной потребностью, которую можно удовлетворить при помощи рассматриваемой технической системы, а также необходимость учета полных затрат общественного труда. В качестве основных критериев экономической эффективности можно, например, рассматривать себестоимость и критерий, учитывающий так называемую остаточную стоимость. Это позволяет на основе построения модели описания средств и систем наблюдения учесть изменения потребностей и затраты, вложенные в обновление и расширение технических средств в течение планируемого периода. Проведенный анализ совокупности затрат позволяет рассматривать в качестве основных капитальные вложения и эксплуатационные расходы.

К капитальным вложениям относятся:

- стоимость основного комплекта оборудования (покупную цену);
- стоимость дополнительного оборудования, устанавливаемого на позиции одновременно с ОРЛС;
- усредненные затраты на изыскание площадки, строительство, оборудование, монтаж и благоустройство площадки, прокладку линий связи и строительство дорог.

Эксплуатационные расходы в основном складываются из расходов на содержание штатного обслуживающего персонала и стоимости потребляемой электроэнергии.

Обобщая сказанное, можно сформулировать задачу формирования потребностей в ОРЛС на рассматриваемый период планирования в следующей комплексной постановке. При заданных конфигурациях сети трасс и маршрутов, делении воздушного пространства на районные центры и прогнозах изменения их границ необходимо определить, какие типы ОРЛС и в каком количестве следует заказывать и приобретать государственной корпорации ОрВД (организация воздушного движения) в течение планируемого периода, чтобы удовлетворить требования ЕС ОрВД (единая система организации воздушного движения) с минимальными затратами, выполняя ряд ограничений, накладываемых условиями эксплуатации и поставками ОРЛС.

К основным из таких условий относятся: характеристики эксплуатационной пригодности существующей системы ОРЛС; требования к открытию радиолокационным полем сети воздушных трасс и объемов воздушного пространства, контролируемых в районных центрах; приоритетные и общегосударственные требования, связанные с решениями об

установке ОРЛС в определенных районных центрах; ограниченные производственные мощности предприятий, серийно выпускающих ОРЛС.

Анализ поставленной задачи позволяет выделить три вида ее частных постановок. Требуется полностью перекрыть сеть трасс (Z-задача). Здесь не предъявляется требование к полному перекрытию всех объемов воздушного пространства в зонах РДС (районы диспетчерской службы). Решение Z-задачи, характеризующееся перекрытием минимального объема воздушного пространства, может, по-видимому, несколько уменьшить значения оценки потребностей ЕС ОрВД в ОРЛС и является в связи с этим наиболее экономичным. Кроме того, решение Z-задачи может служить основой для решения задачи рационального деления воздушного пространства.

Требуется полностью перекрыть объемы воздушного пространства для всех центров (R-задача). Ее решение, как и задачи оптимизации, обеспечивает минимум суммарных затрат на обеспечение потребностей в ОРЛС.

К данному виду можно отнести смешанный случай, т. е. когда для заданной совокупности РДС требуется полностью перекрыть объемы воздушного пространства, а для другой - по крайней мере подсети трасс (M-задача). К этому виду можно отнести также и случай, когда за единицу объема, перекрываемого радиолокационным полем, принимаются секторы или другие зоны центров.

На решение задачи формирования потребностей гражданской авиации в ОРЛС значительное влияние могут оказывать возможности предприятий, выпускающих потребное оборудование. Если предприятия-поставщики могут полностью удовлетворить потребности гражданской авиации при любом сочетании типов ОРЛС, то влиянием этого фактора на решение задачи можно пренебречь и рассматривать ее как закрытую систему. Так как мощности производственных предприятий ограничены, то задачу следует разбирать как открытую систему, которая обменивается информацией с окружающей средой.

Возможны различные методические подходы к исследованию рассматриваемой задачи. При одном из них система дополняется до закрытой путем включения в нее той части окружающей среды, с которой происходит обмен информацией, т. е. задача решается с учетом динамических условий и ограничений поставки. При другом подходе задача реализуется с использованием итерационных процедур, позволяющих последовательно учесть в модели ограничения на поставки технических средств определенного типа. Так как, номенклатура используемых в гражданской авиации ОРЛС ограничена единицами типов, целесообразно решать задачи формирования потребностей в средствах наблюдения в два этапа. На первом этапе задачу решают для модели системы открытого типа (R_0 -задача). На втором этапе проверяют, удовлетворяет ли решение условиям поставки. В случае отрицательного результата, т. е. при невыполнении отдельных условий поставки, задача решается для модели системы закрытого типа с учетом требований по

всем условиям поставки (R_3 -задача). При невыполнении одного или нескольких условий поставки потребности гражданской авиации в ОРЛС по номенклатуре в условиях решения R_3 -задачи не могут быть удовлетворены полностью и требуется либо перейти к анализу решений М- или Z-задач, либо ввести директивные коррективы в планы развития соответствующих отраслей.

Все это оказывается справедливым для построения концептуальных моделей оптимизации структуры и состава ОРЛС в течение одного планируемого периода. При рассмотрении моделей нескольких периодов следует проанализировать условия, которые должны быть учтены при декомпозиции динамической модели на статические, если она возможна.

Вывод

Одним из наиболее сложных условий, с точки зрения формализованного учета, является динамическое изменение сети трасс и объемов контролируемого воздушного пространства, заданное для каждого из-под периодов. Здесь возникает задача о таком размещении ОРЛС в каждом из них, чтобы максимально исключить возможность их перераспределения при увеличении объема контролируемого воздушного пространства в последующих под периоды в каждом центре ОВД (обслуживание воздушного движения). Структура системы ОРЛС должна выбираться таким образом, чтобы полностью обеспечить условия эксплуатации для очередного под периодом и учесть их изменение для последующих. Однако имеющиеся ограничения на поставки могут привести к такой ситуации, когда в очередном под периодом возникает необходимость в реорганизации существующей структуры системы ОРЛС. Поэтому при построении математической модели оптимизации ОРЛС необходимо учитывать затраты на возможную реорганизацию. Таким образом, возникает проблема рационального развития системы ОРЛС.

Список литературы

1. И. М. Кумков. Основы теории управления воздушным движением. ОЛАГА 1973г. -208с.
2. Соболев Е. В. Организация радиотехнического обеспечения полетов. Университет гражданской авиации, 2008 г.
3. Радиолокационные системы: учебник / В. П. Бердышев, Е. Н. Гарин, А. Н. Фомин; под общ. ред. В. П. Бердышева.

Блок управления резервными источниками питания на объектах аэронавигации

Горохов Н.П.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
gorohovkolya_86@mail.ru

В современном мире без автоматизации и компьютеризации сложно представить жизнь или цикл работы предприятий. Любая сфера деятельности внедряет автоматические системы управления и модернизирует их. В конечном счете это экономит время и исключает те ошибки, которые может совершить человек.

Введение

На сегодняшний день в России регулярное авиасообщение является одним из необходимых факторов развития экономики, особенно в регионах, где сухопутное и водное сообщение затруднено. Недельные ожидания поставок продовольствия и продуктов первой необходимости, пассажирских рейсов негативно сказываются на привлекательности рабочих мест в богатых природными ресурсами районах Крайнего Севера и Сибири. Да и в развитых экономических центрах бизнесу необходимы авиаперевозки. В свою очередь, развитие индустрии авиаперевозок невозможно без сети современных аэропортов, представляющих собой нечто большее, чем просто выровненную взлётно-посадочную полосу и барак-терминал.

В каждом аэропорту имеются следующие подразделения: отряд, обслуживающий взлётно-посадочную полосу и поле; светотехнический персонал; аэронавигационная служба; технический персонал по обслуживанию пассажиров на посадке и высадке из воздушного судна, а также по загрузке и выгрузке багажа; служба «карга» (обслуживание грузов); авиатехники; метеорологическая служба; медицинская служба, в том числе санитарно-карантинный пункт; справочная служба.

Аэронавигационная служба – организация воздушного движения (ОрВД) представляет собой динамичный и комплексный процесс обслуживания воздушного движения, организации потоков и воздушного пространства, осуществляемый безопасным, экономичным и эффективным образом путем предоставления средств и непрерывного обслуживания в сотрудничестве и взаимодействии всех заинтересованных сторон (органов ОрВД, пользователей воздушного пространства, аэропортов и других участников ОрВД) и с использованием бортовых и наземных функций. Обслуживание воздушного движения представляет собой общий термин и состоит из следующих трех видов обслуживания:

диспетчерского обслуживания;

полетно-информационного обслуживания;
аварийного оповещения.

Объектами единой системы организации воздушного движения являются комплексы зданий, сооружений, коммуникаций, а также наземные объекты средств и систем обслуживания воздушного движения, навигации, посадки и связи, предназначенные для организации воздушного движения. И на каждый объект очень жёсткие требования по организации бесперебойности электроснабжения. При современных объёмах перевозок и количестве задействованного в диспетчеризации и регулировании пассажира и грузопотоков электрооборудования электроснабжение не должно прекращаться ни на секунду. Это требование определяет необходимость использования нескольких независимых каналов подачи электроэнергии, разработки схем резервного питания и защиты цепей. Высокая степень автоматизации, доступная при таком подходе, позволяет значительно снизить нагрузку на обслуживающий персонал и число ошибок, связанных с влиянием человеческого фактора. Отличные результаты даёт и интеграция в общее информационное пространство не только систем жизнеобеспечения, но и систем комплексного обеспечения безопасности.

Нарушения питания электроснабжение создает аварийную ситуацию: потеря связи, а в условиях крайнего севера нарушение системы отопления в зимний период, сбой некоторых технических оборудования и т.д. Затруднение запуска оборудования после перебоя электроснабжения: изменение пользовательских настроек, параметров для стабильной работы, потеря времени, особенно, когда воздушное судно идет на снижение высоты и готовится к посадке. Каждая аварийная ситуация может провоцировать более крупные чрезвычайные ситуации.

По требованию федеральной авиационной правил электроснабжение объектов радиотехнической обеспечении полетов и связи должно осуществляться от централизованных источников электроэнергии. Т.е. в качестве основного источника электроснабжения должны использоваться внешние электрические сети, а в качестве резервного могут использоваться второй, независимый источник электрической сети. Это могут быть: дизель-генераторы, химические источники тока и агрегаты бесперебойного питания. На объектах особой группы (электроприемники 1 категории) - от трех независимых взаимно резервируемых источников электроснабжения.

На данный проект рассмотрим вариант о трех независимых друг от друга источников электроснабжения, т.е. основной централизованный и два дизель-генератора в качестве резервного источника питания.

[illegible]

Чтобы избежать потери времени по восстановлению электроснабжение предлагаю разработать и установить вместо перекидного рубильника QS-2, автоматический блок управление резервными источниками питания на объектах аэронавигации и предлагаю следующую электрическую схему.

РИП-1 NS-30 РИП-2 АД-30-2РН

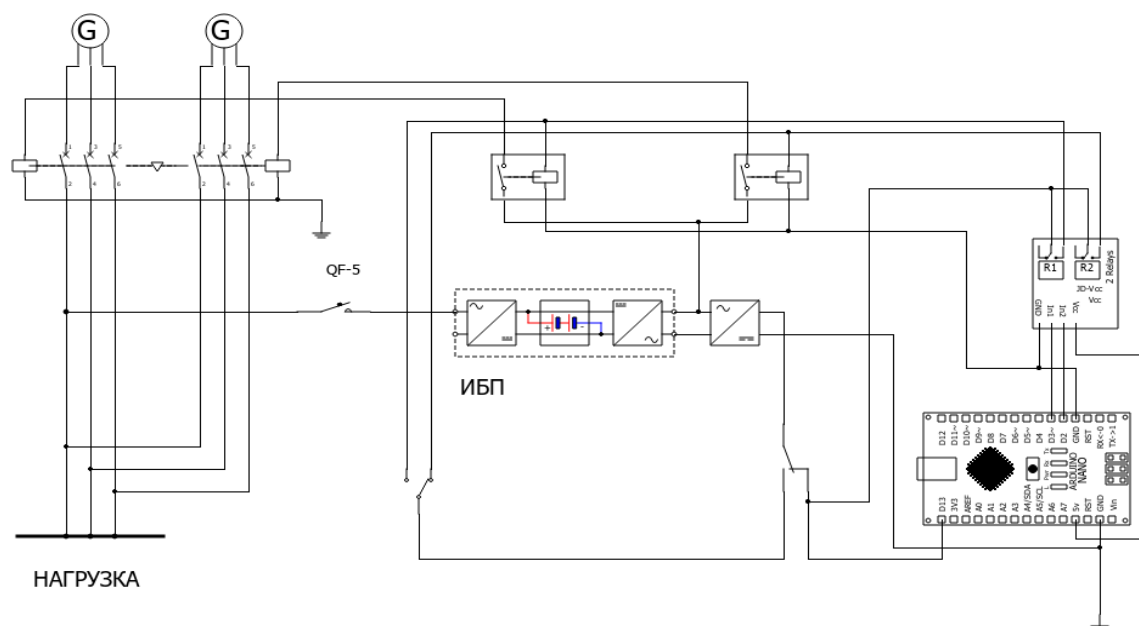


Схема 2. Блок управление резервными источниками питания

Заключение

Данная разработка полностью автоматизирует электроснабжение объекта и поможет избежать потери времени по восстановлению энерго-снабжения при аварийных ситуациях.

Список литературы

Долгов В. А. Китов Анатолий Иванович — пионер кибернетики, информатики и автоматизированных систем управления. М.: ГОУ ВПО «РЭА им. Г. В. Плеханова», 2010.

Доплеровский измеритель скорости угла сноса

Гошко Р.С.

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

Для повышения точности измерения доплеровской частоты разработана структурная и функциональная схемы на базе цифрового синтезатора частоты с цифровым управлением в режимах «Поиск» и «Слежение».

Введение

Доплеровские измерители скорости и угла сноса (ДИСС) – важная часть радиоэлектронного оборудования летательных аппаратов. Являясь автономной радиотехнической системой, ДИСС позволяют обеспечивать экипаж и (или) автоматическую бортовую систему управления важной навигационной информацией без применения спутниковых навигационных систем. В ряде случаев ДИСС может оказаться единственным источником информации о путевой скорости и угле сноса. Точность определения путевой скорости и угла сноса летательных аппаратов может оказаться критически важным фактором. Поэтому задача повышения точности измерения доплеровской частоты является актуальной. Целью работы является повышение точности измерения доплеровской частоты за счет снижения инструментальной погрешности измерителя доплеровской частоты. В первом разделе рассматриваются принципы работы ДИСС, анализируются структурные схемы и состав, инструментальные погрешности измерения доплеровской частоты. Во втором разделе разрабатывается структурная и функциональная схема измерителя доплеровской частоты, обладающего лучшей точностью.

Утечки интегратора происходят от утечки конденсаторов аналоговых интеграторов. Они приводят к нестабильности выходного напряжения интегратора. Вследствие утечки выходное напряжения интегратора постепенно снижается и это влечет за собой постепенное снижение управляющего напряжения, подаваемого на перестраиваемый гетеродин. Далее от этого постепенно снижается и частота гетеродина. Последствия от утечки особенно заметны тогда, когда путевая скорость длительное время ни увеличивается, ни уменьшается.

Нелинейность интегратора имеет характер насыщения, т.е. при появлении значительного рассогласования происходит постепенное замедление скорости нарастания выходного напряжения интегратора. В итоге это приводит к увеличению динамической составляющей погрешности напряжения управления. Для полного устранения составляющих погрешности от утечки и нелинейности следует перейти на цифровые средства, обеспечивающие функции интегратора.

Аналоговый интегратор вместе со схемой поиска может быть успешно заменен на двоичный реверсивный счётчик. Действительно, счётчик работает подобно интегратору: каждый счётный импульс меняет код счётчика на единицу – увеличивает код, если импульс подан на суммирующий вход, что равноценно увеличению входного напряжения интегратора; уменьшает код, если импульс подан на вычитающий вход, что равноценно снижению входного напряжения интегратора. Таким образом состояние счётчика меняется строго линейно. При отсутствии счётных импульсов состояние счётчика неизменное и стабильное – код счётчика не меняется. Это равноценно нулевому входному напряжению интегратора и соответствующему постоянному выходному напряжению интегратора.

Аналоговый перестраиваемый гетеродин ПГ следует заменить на цифровой синтезатор частоты (ЦСЧ). Теперь частота ЦСЧ–ПГ должна перестраиваться посредством изменения состояния счётчика, который станет выполнять роль аналогового интегратора. В свою очередь ЦСЧ обеспечит высокую стабильность частоты $f_{ПГ}$ и быструю перестройку в необходимом диапазоне. Дополнительно состояние счётчика как в режиме «слежения» за частотой $F_{Дср}$ (режим) «Слежение»), так и в режиме «Поиск» отражается значением кода, который непосредственно задает частоту $f_{ПГ}$ ЦСЧ–ПГ. Поэтому данный код однозначно характеризует и величину измеряемой доплеровской частоты $F_{Дср}$. Таким образом данный код частоты $f_{ПГ}$ может быть использован для вычисления текущих значений $F_{Дср}$.

Применение ЦСЧ дополнительно стабилизирует частоту $f_{ПГ}$. В случае непосредственного использования кодов частоты $f_{ПГ}$ как выходных данных ИДЧ не обходимо полностью цифровой вычислитель (самолета) путевой скорости и угла сноса.

В то же время нет необходимости перепроектировать квадратурно-фазовый дискриминатор и схему захвата. Таким образом, структурная схема ИДЧ примет вид (Рисунок 1):

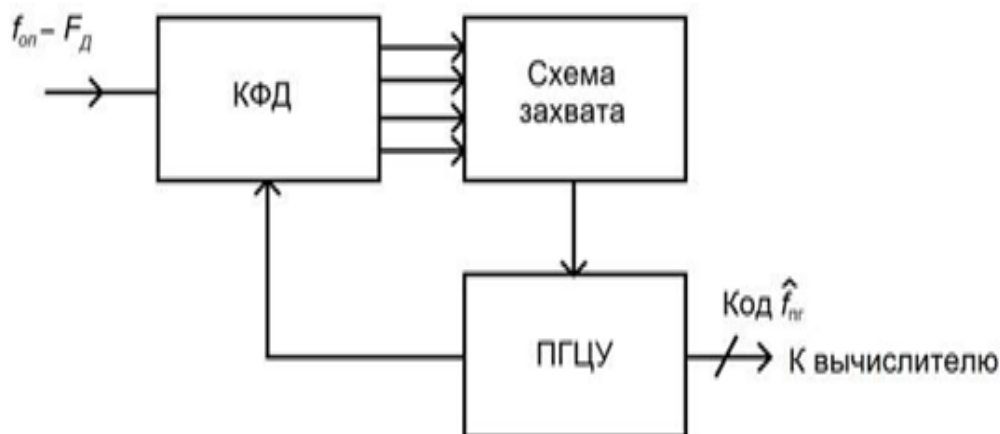


Рисунок 1. Квадратурно–фазовый дискриминатор КФД, перестраиваемый гетеродин с цифровым управлением ПГЦУ

Квадратурно–фазовый дискриминатор КФД, перестраиваемый гетеродин с цифровым управлением ПГЦУ.

На вход квадратурно–фазового дискриминатора КФД подается сигнал нижней боковой полосы $f_C = f_{on} - F_{Дср}$ балансно–модулированного сигнала; выходные сигналы КФД выходные сигналы смесителей СМ1 и СМ2; выходные сигналы ФНЧ1 и ФНЧ2.

С выхода схемы захвата необходимо выдавать два сигнала: «Поиск» и «Слежение» для включения соответствующих режимов работы ИДЧ.

Состав ПГЦУ:

- ЦСЧ–ПГ;
- переключатель режимов «Поиск/Слежение» регистр кода, задающего значение минимальной частоты;
- двоичный реверсивный счётчик с предварительной установкой;
- генератор счетных импульсов ГСИ;
- коммутатор счетных импульсов КСИ.

В режиме «Поиск» в двоичный реверсивный счётчик из регистра переписывание номинальной частоты $f_{ПГ \min}$, на суммирующий вход через КСИ начинают поступать импульсы от ГСИ до тех пор, пока не сработает схема захвата и выдаст на ПГЦУ соответствующий сигнал.

В режиме «Слежение» КСИ переключает как суммирующий так и вычитающий входы счётчика к соответствующим выходам импульсного фазового дискриминатора КФД.

ПГЦУ должен выполнять следующие функции:

- генерирование сигнала с частотой $f_{ПГ}$;
 - формирование кода частоты $f_{ПГ}$ для управления ЦСЧ;
 - подстройку частоты;
 - изменение частоты $f_{ПГ}$ в режиме «Слежение» по линейному закону в режиме «Поиск» хранение и установку в двоичный реверсивный счётчик кода частоты
- Входные сигналы ПГЦУ:
- два импульсных сигнала расстройки от КФД;
 - импульсный сигнал-признак «Захват» от схемы захвата;
 - импульсный сигнал-признак «Поиск» от схемы захвата.

Выходные сигналы ПГЦУ:

- $f_{ПГ \min}$;
- квадратурные сигналы Q и I с частотой $f_{ПГ}$;
- код текущей частоты ЦСЧ–ПГ $f_{ПГ}$;
- логический сигнал-признак изменения текущей частоты $f_{ПГ}$;
- импульсный сигнал-признак «Захват» от схемы захвата;
- импульсный сигнал-признак «Поиск» от схемы захвата.

Далее будет разработана функциональная схема ПГЦУ.

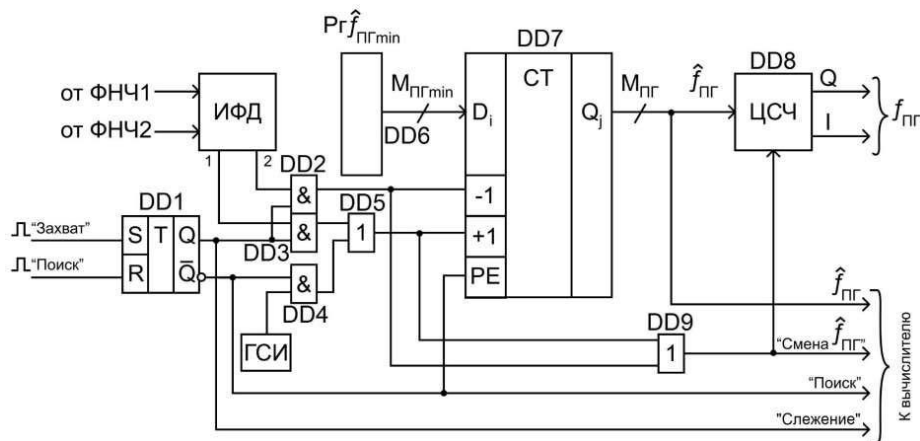


Рисунок 2. Схема ПГЦУ

Функциональная схема ПГЦУ состоит:

- DD1 – RS-триггер переключатель режимов «Поиск/Слежение»;
- DD2 – DD5 – коммутатор счетных импульсов;
- DD6 – регистр кода минимальной частоты $f_{\text{ПГ min}}$;
- DD7 – двоичный реверсивный счётчик с предварительной установкой;
- DD8 – ЦСЧ–ПГ.

Рассмотрим работу ПГЦУ по функциональной схеме. В режиме «Поиск» от схемы захвата поступает импульсный сигнал-признак «Поиск». Этим сигналом в двоичный реверсивный счётчик DD7 из регистра DD6 переписывается код $f_{\text{ПГ min}}$ RS–триггер DD1 устанавливается в «0» и на инверсном выходе появляется сигнал логической «1».

Этот сигнал через элемент «И» DD4 коммутатора счетных импульсов разрешает поступление счетных импульсов от ГСИ на суммирующий вход счётчика DD7. На выходе счетчика появляется код $f_{\text{ПГ min}}$, который от каждого счетного импульса увеличивается на 1.

Текущими значениями выходного кода счетчика DD7 перестраивается в сторону увеличения частота квадратурных сигналов Q и I ЦСЧ, начиная со значения $f_{\text{ПГ min}}$. Для вычислителя появление сигнала «Поиск» означает, что текущие значение кода частоты $f_{\text{ПГ}}$ недействительны для вычисления путевой скорости и угла сноса до прихода сигнала «Слежение».

Поступление импульсов от ГСИ продолжается до тех пор, пока от схемы захвата не придет сигнал-признак «Захват» и ПГЦУ не перейдет в режим «Слежение». В режиме «Слежение» RS–триггер DD1 устанавливается в «1» и на инверсном выходе появляется сигнал логического «0».

Этот сигнал через элемент «И» DD4 коммутатора счетных импульсов прекращает поступление счетных импульсов от ГСИ на суммирующий вход счётчика DD7.

Сигнал логической «1» с неинверсного выхода DD1 через элементы DD2 и DD3 разрешает поступление импульсов от ИФД на суммирующий и вычитающий входы счётчика DD7.

Каждый импульс от ИФД изменяет (увеличивает или уменьшает в зависимости от знака расстройки) на 1 содержимое счетчика. Этим меняется текущее значение кода частоты $f_{ПГ}$.

Любое изменение кода частоты $f_{ПГ}$, в режиме «слежение» должно вызывать новый цикл вычислений путевой скорости и угла сноса и обновление показаний. Признаком изменений является поступление сигналов от ИФД, вызывающие появление сигнала «СМЕНА $f_{ПГ}$ ».

Требований к функциональным частям ПГЦУ.

Зададимся диапазоном возможного относительного изменения путевой скорости ЛА, например, $W_{\max}/W_{\min} = 6$. Это соответствует, например, диапазону скоростей от 50 до 300 м/с (180-1080 км/ч), что характерно для диапазона скоростей дозвуковых ЛА от посадочной (взлетной) до максимальной. Примем минимальную измеряемую путевую скорость, равную 50 м/с, а угол β_0 равным 700. Тогда доплеровская частота примет значение $FW0_{\min} = 34,2/\lambda_{и}$.

Тогда максимальное значение доплеровской частоты примет вид:
 $FW0_{\max} = 6 \cdot 34,2/\lambda_{и} = 205,2/\lambda_{и}$.

Тогда ширина диапазона доплеровских частот составит $FW0_{\max} - FW0_{\min} = 171/\lambda_{и}$.

Примем запас по частоте для минимального значения доплеровской частоты в 10% и тогда $FW0_{\min} = 30/\lambda_{и}$, а максимальное значение оставим без изменений и тогда ширина диапазона доплеровских частот составит $FW0_{\max} - FW0_{\min} = 175,2/\lambda_{и}$.

Диапазон генерируемых частот цифрового синтезатора частоты должен перекрывать диапазон изменения доплеровской частоты, преобразованной балансным смесителем на опорной частоте 500 кГц. Если ИДЧ работает по нижней боковой полосе преобразованного балансным смесителем сигнала, тогда диапазон частот цифрового синтезатора должен быть не менее $500 - (205/\lambda_{и})$ Гц. Оценим шаг сетки частот ЦСЧ. С этой целью зададимся разрешающей способностью ДИСС по скорости. Примем величину разрешающей способности, равную ΔW м/с и тогда на весь диапазон доплеровских частот потребуется не менее $(W_{\max} - W_{\min})/\Delta W$ значений частот ЦСЧ. В рассчитанном диапазоне частот шаг сетки частот составит не более $500 - (205/\lambda_{и}) / [(W_{\max} - W_{\min})/\Delta W]$ Гц.

Очень желательно наличие у ЦСЧ возможности генерировать квадратурные сигналы Q, I. В этом случае аппаратная реализация всего ИДЧ заметно упростится благодаря тому, что отпадает необходимость в фазовращателе ФВ перед смесителем См2 (рисунок 1.16).

Разрядность двоичного реверсивного счётчика должна быть не менее максимальной длины кода $M_{\text{ПГ}}$ частоты ЦСЧ.

Емкость двоичного реверсивного счётчика в десятичном исчислении должна быть не менее $(W_{\text{max}} - W_{\text{min}}) / \Delta W$. Разрядность регистра кода минимальной частоты $f_{\text{ПГ min}}$ должна быть не менее длины кода минимальной частоты. Определим требования к частоте ГТИ. Данная частота зависит от постоянной времени интегрирования $k_{\text{и}}$ следующим образом. Постоянная времени аналогового интегратора есть скорость нарастания выходного напряжения в вольтах на секунду. Постоянная времени задает время полного интегрирования, оно же максимальное время поиска T_{max} : $T_{\text{max}} = U_{\text{интmax}} / k_{\text{и}}$.

Для того, чтобы счетчик в режиме «Поиск» менял свой код от $f_{\text{ПГ min}}$ до $f_{\text{ПГ max}}$ за время T_{max} и при этом выдавал все значения кодов частот в количестве $(W_{\text{max}} - W_{\text{min}}) / \Delta W$ частота ГСИ должна быть равной $f_{\text{ГТИ}} = [(W_{\text{max}} - W_{\text{min}}) / \Delta W] / T_{\text{max}}$ Гц.

Поскольку выходом ИДЧ стал код частоты ПГ, то вычислитель теперь должен быть полностью цифровым. Перед расчетом путевой скорости и угла сноса необходимо вычислить значение частоты ПГ по полученному от ИДЧ коду частоты ПГ и далее рассчитать значение доплеровской частоты как разность между частотой ПГ и опорной частотой. Для современного уровня развития цифровой техники аппаратные и временные затраты на указанные дополнительные операции незначительны.

Заключение

С целью устранения погрешностей, вносимых аналоговым интегратором, предложено реализовать измеритель доплеровской частоты на базе цифрового синтезатора частоты (ЦСЧ) взамен аналогового перестраиваемого гетеродина (ПГ). Управление частотой синтезатора в режимах «Поиск» и «Слежение» реализовано с помощью двоичного реверсивного счётчика.

С учетом различных диапазонов измерения путевой скорости требования к функциональным частям (диапазон частот, шаг сетки частот ЦСЧ; разрядность счетчика, частота ГСИ) рассчитаны в общем виде.

Список литературы

1. Скрыпник О.Н. Радионавигационные системы воздушных судов: учебник / О.Н.Скрыпник. – М.: ИНФРА-М, 2018. – 348 с.
2. Радионавигационные системы летательных аппаратов: Учебник для вузов гражданской авиации / П.С. Давыдов, В.В. Криницын, И.Н. Хресин, Г.В. Кашеев, В.С. Уваров. Под редакцией П.С. Давыдова. – М.: Транспорт, 1980. 448 с.
3. Сосновский А.А., Хаймович И.А. Радиоэлектронное оборудование летательных аппаратов. Справочник. – М.: Транспорт, 1987 – 256 с., илл., табл.

Влияние магнитного поля на колебания разрядного и ионного токов в плазме $E \times B$ разряда

Ригин А.В., Строкин Н.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

arseniy.rigin@mail.ru, strokin85@inbox.ru

Плазменные колебания оказывают негативное влияние на стабильность технологических параметров при плазменной обработке материалов, устойчивость работы плазменных двигателей и качество плазменной масс-сепарации. Различные виды плазменных колебаний отличаются условиями возбуждения, частотами и амплитудами. В работе приводятся предварительные результаты обработки экспериментальных данных по исследованию характеристик плазменных колебаний в диапазоне 20 кГц – 30 МГц при изменении магнитного поля в плазме разряда в скрещенных электрическом и магнитном полях плазменного ускорителя.

Введение

Плазменные колебания теоретически и экспериментальными методами изучаются в $E \times B$ разряде холловских ускорителей с анодным слоем (УАС) и стационарных плазменных двигателей (СПД) с начала 70-х годов XX века. Здесь мы сошлемся лишь на известные обзоры по данной теме [1-3].

Для исследования плазменных колебаний применяют зондовые методы исследования. Однако при этом зонды возмущают плазму. В предлагаемой работе исследование плазменных колебаний проводилось с помощью бесконтактных методов диагностики. Возмущение разрядного тока контролировалось по производной разрядного тока в плазме неона при скорости напуска газа $q = 100$ ст. см³/мин, измеряемой с помощью индукционного датчика (пояса Роговского) в цепи питания анод-катод УАС в предположении одинаковости частот колебаний тока и его производной. Наряду с этим, исследовались колебания ионного тока – только переменная составляющая, так как сигнал с коллектора ионов энергоанализатора с задерживающим потенциалом (ЭЗП) [4] регистрировался через разделительный трансформатор. ЭЗП устанавливался на выходе из катода УАС. Оба сигнала регистрировались одновременно на разных каналах осциллографа.

Установка; диагностика

Источником плазмы служил УАС. На рисунке 1а показана схема области разряда УАС. Магнитное поле в разрядном промежутке создавалось с помощью двух катушек, расположенных внутри УАС – рисунок 1б.

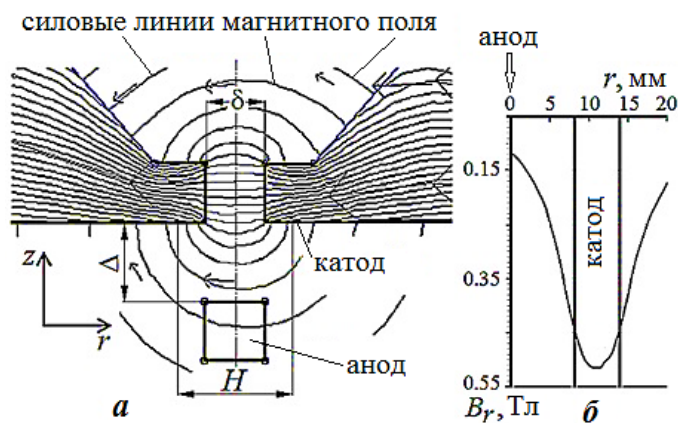


Рисунок 1. (а) – фрагмент конструкции УАС: $\delta = 6$ мм; $\Delta = 10$ мм; $H \approx 14$ мм – область эмиссии электронов с поверхности катода; (б) – пример распределения радиальной составляющей магнитного поля вдоль оси разрядного промежутка.

На рисунке 2 показаны рабочие токи $E \times B$ разряда в описываемом эксперименте.

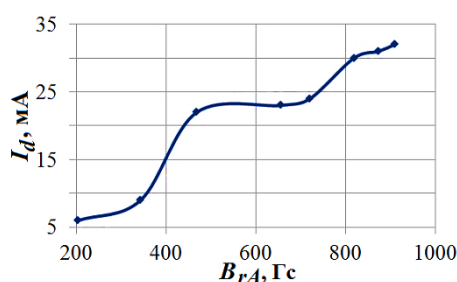


Рисунок 2. Зависимость разрядного тока от радиальной компоненты индукции магнитного поля на аноде УАС; разрядное напряжение $U_d \approx 1100$ В; рабочее давление неона $P = 1,2 \cdot 10^{-4}$ торр.

Параметры пояса Роговского (ПР) ТАК-12: $L = 10$ мкГн, $C = 2,5$ мкФ, $R = 399$ Ом. Датчик не искажает форму и частоту сигнала в диапазоне 25 кГц ÷ 30 МГц. АЧХ в диапазоне $\Delta f \approx 25$ кГц ÷ 30 МГц имеет вид неоднородного полосового фильтра: со стороны НЧ уровень 0,7 соответствует $f_{НЧ,0,7} \approx 250$ кГц; со стороны ВЧ – $f_{ВЧ,0,7} \approx 18$ МГц.

Параметры разделительного трансформатора ТРР-2, через который подавался на систему регистрации ток ионов: $L = 29$ мкГн, $C = 205$ мкФ, $R = 0,43$ Ом. Трансформатор не искажает форму и частоту сигнала с 3 кГц до 30 МГц. АЧХ в диапазоне $\Delta f \approx 25$ кГц ÷ 30 МГц имеет вид резонансной кривой: со стороны НЧ уровень 0,7 соответствует $f_{НЧ,0,7} \approx 4$ МГц; со стороны ВЧ – $f_{ВЧ,0,7} \approx 8$ МГц.

Колебания разрядного тока и тока ионов в плазме ускорителя с анодным слоем

При разрядном напряжении $U_d = 1100 - 1200$ В и токах разряда $I_d \leq 10$ мА наблюдаются нерегулярные малой амплитуды колебания как производной разрядного тока, так и ионного тока в диапазоне 80 кГц – 5 МГц, наибольшие – в нижнем диапазоне частот. Заметные синхронные (ПР + ионы) колебания появляются при токе разряда $I_d \approx 20$ мА и радиальной компоненте индукции магнитного поля на аноде $B_{rA} \approx 470$ Гс в виде «кустов» всплесков с периодом следования $T_1 \approx 2 \cdot 10^{-5}$ с. Внутри каждого всплеска

регистрируется $10 \div 12$ колебаний с периодом $T_2 \approx 2 \cdot 10^{-6}$ с – частотой $f_2 \approx 500$ кГц (рисунок 3). Наряду с ними, есть всплески колебаний на частотах от 120 до 800 кГц и появились колебания с ПР в диапазоне 4 – 7 МГц с максимумом на $f \approx 5,4$ МГц, как и колебания ионного тока на нескольких частотах в диапазоне 4 – 19 МГц. На рис. 4 приведены амплитудно-частотные характеристики этих колебаний.

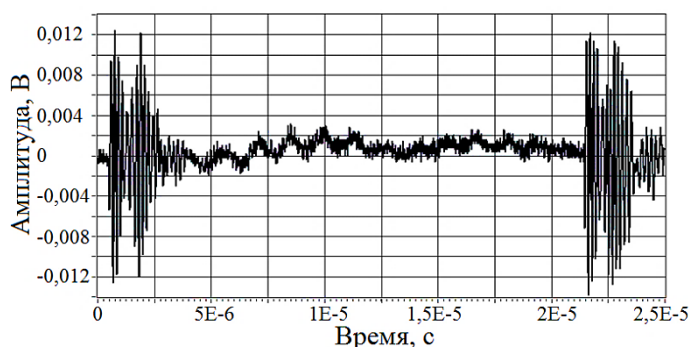


Рисунок 3. Осциллограмма сигнала с пояса Роговского: неон; $U_d = 1123$ В; $I_d = 21$ мА; $B_{rA} = 470$ Гс; $\Delta T = 2,5$ мкс/дел.

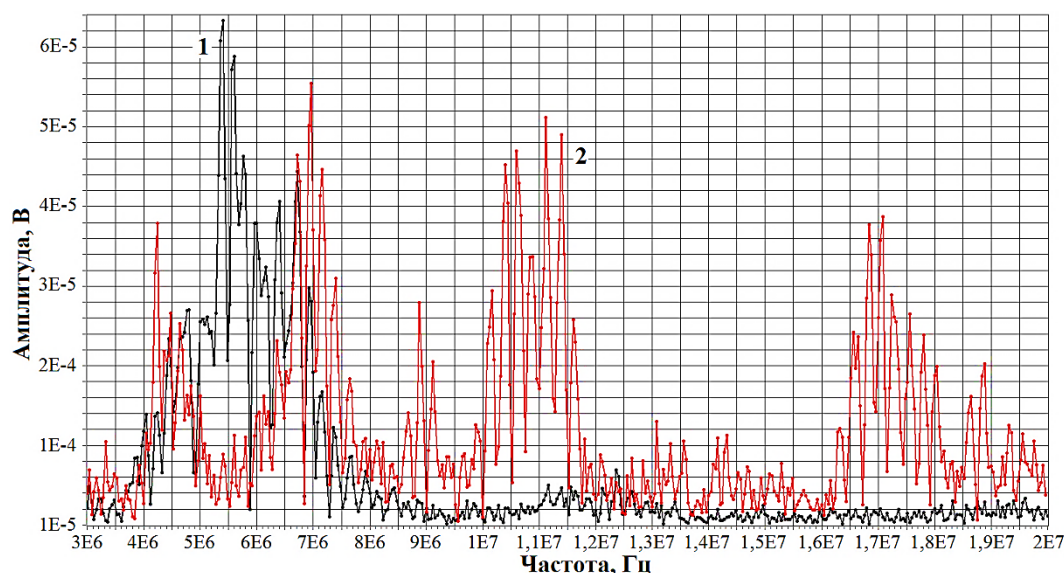


Рисунок 4. АЧХ производной разрядного тока (кривая 1; черная) и АЧХ тока ионов (кривая 2; красная; умножено на 3): неон; $U_d = 1120$ В; $I_d = 21$ мА; $B_{rA} = 470$ Гс.

Спектр ионов по энергии (рисунок 5, кривая 2) при $B_{rA} = 470$ Гс имеет наибольшую площадь с максимумом на энергии $W \approx 450$ эВ. Плотность ионов, определенная по распределению ионов, максимальная и равна $n \approx 9,1 \cdot 10^6$ см $^{-3}$ (рисунок 6).

Увеличение B_{rA} до 660 Гс приводит к уменьшению по амплитуде или к исчезновению колебаний на обоих датчиках в диапазоне 200-800 кГц, но и к появлению одиночных всплесков колебаний на 45 и 90 кГц и росту только ионных колебаний по амплитуде примерно в 2 раза на частоте около 5 МГц. Спектр ионов по энергии (рисунок 5, кривая 3) резко «падает» по амплитуде со смещением наиболее вероятной энергии на 200 эВ в сторону

высоких энергий (до ~600 эВ). Соответственно, этому процессу отвечает минимальная плотность ионов – рисунок 6.

При увеличении B_{rA} до 930 Гс наиболее вероятная энергия распределения ионов смещается в сторону низких (250 эВ), затем высоких (500 эВ) энергий, подрастает площадь, ограниченная спектрами ионов и, соответственно, медленно нарастает плотность ионов.

При поле 820 Гс резко изменяется характер сигнала с ПР: он становится не похожим на ионный сигнал – появляется составляющая на $f \approx 160\text{--}200$ кГц (рисунок 7). Колебания ионов в кГц-диапазоне исчезают. Характерный вид АЧХ приведен на рисунок 8. Поле 870 Гс приводит к росту сигнала с ПР на $f \approx 160\text{--}200$ кГц и спаду амплитуды ионных колебаний примерно на порядок по сравнению с полем 720 Гс.

«Двухпучковость» АЧХ сигнала производной разрядного тока сохраняется при $340 \text{ Гс} \leq B_{rA} \leq 900 \text{ Гс}$ – рисунок 9 с увеличением амплитуды сигнала в низких частотах. Ионный сигнал в этом же диапазоне полей «виден», в основном, в МГц-диапазоне – рисунок 10.

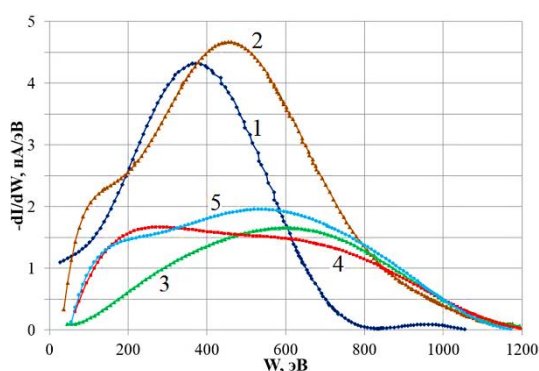


Рисунок 5. Распределения ионов по энергии: неон; $U_d = 1200 \text{ В}$; $P = 1,2 \cdot 10^{-4}$ торр; 1 – $B_{rA} = 340$, 2 – 470, 3 – 660, 4 – 820, 5 – 930 Гс.

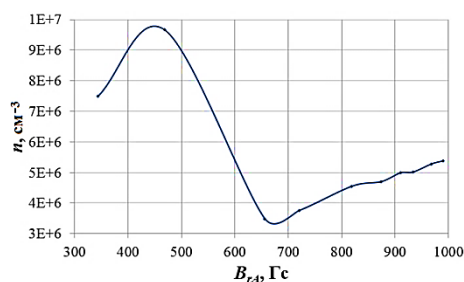


Рисунок 6. Плотность ионов: неон; $U_d = 1200 \text{ В}$; $P = 1,2 \cdot 10^{-4}$ торр; соответствует спектрам ионов, приведенным на рисунке 5.

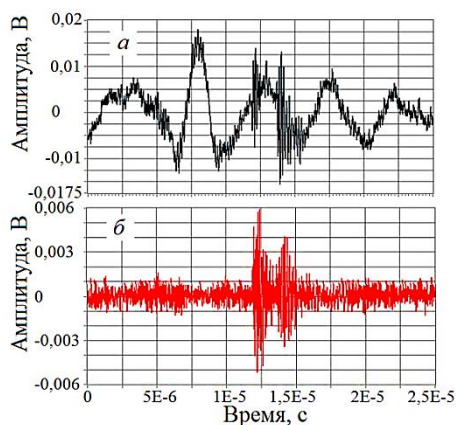


Рисунок 7. (а) – осциллограммы сигналов с пояса Роговского и (б) – с датчика тока ионов: неон; $U_d = 1110 \text{ В}$; $I_d = 32 \text{ мА}$; $B_{rA} = 870 \text{ Гс}$; развертка осциллографа $\Delta T = 2,5 \text{ мкс/дел}$.

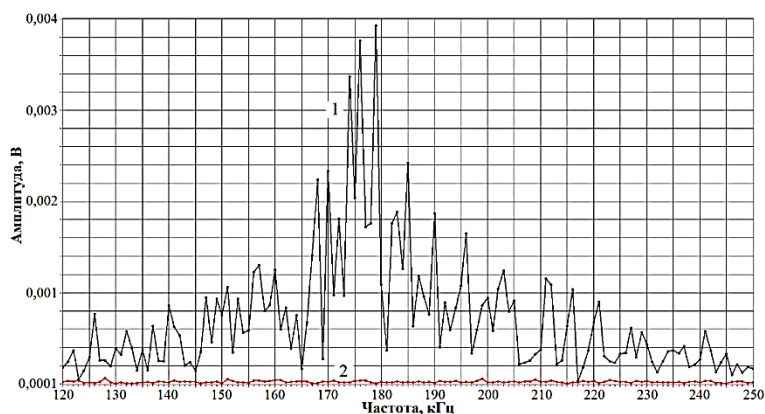


Рисунок 8. АЧХ производной разрядного тока (кривая 1; черная) и АЧХ тока ионов (кривая 2): неон; $U_d = 1110$ В; $I_d = 30$ мА; $B_{rA} = 820$ Гс.

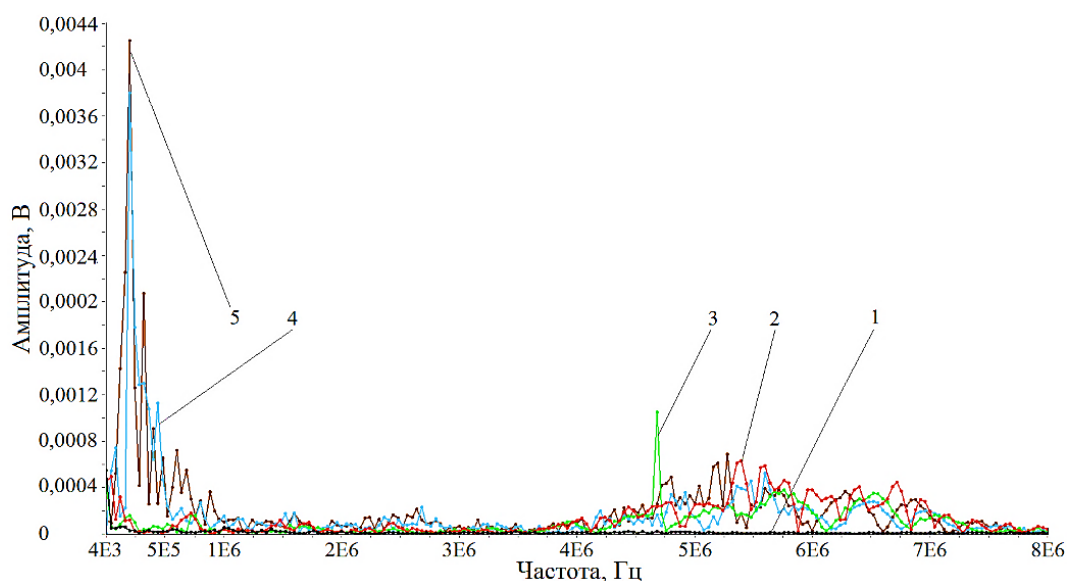


Рисунок 9. АЧХ колебаний производной разрядного тока: кривая 1 – $U_d = 1140$ В, $I_d = 9$ мА, $B_{rA} = 340$ Гс; 2 – 1120, 21, 470; 3 – 1120, 25, 720; 4 – 1110, 32, 870; 5 – 1110, 29, 910.

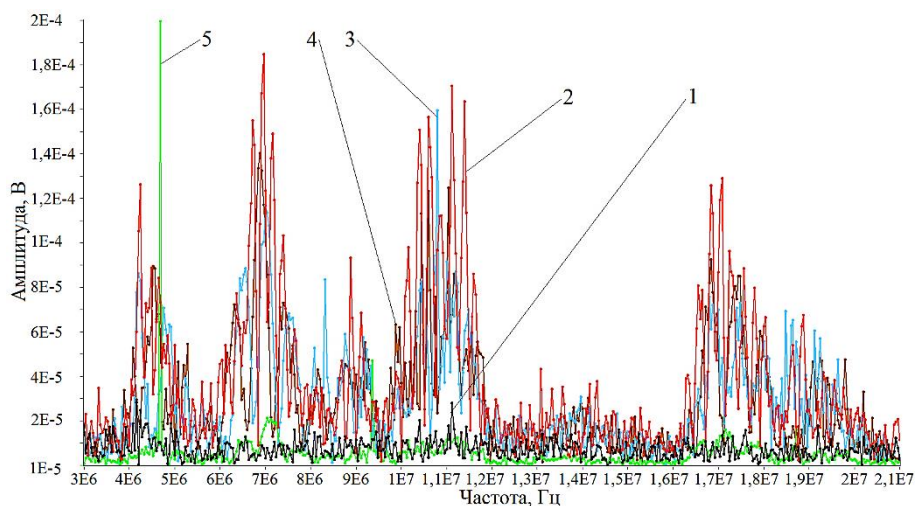


Рисунок 10. АЧХ колебаний ионного тока: кривая 1 – $U_d = 1140$ В, $I_d = 9$ мА, $B_{rA} = 340$ Гс; 2 – 1120, 21, 470; 3 – 1120, 25, 720 (умножено на 0,15); 4 – 1110, 32, 870; 5 – 1110, 29, 910.

Закключение

Получены явные свидетельства влияния величины индукции магнитного поля на формирование АЧХ колебаний как разрядного тока, так и тока ионов. В частности, это видно при переходе от $B_{rA} = 470$ Гс к $B_{rA} = 660$ Гс, который сопровождался резким обеднением энергетического спектра ионов (рисунок 5, кривая 3) и спадом плотности ионов до минимального уровня (рисунок 6). Хотя при этом разрядный ток не уменьшился, а увеличился на 2 мА. То есть, можно предположить, что процесс нагрева электронов и пониженная эффективность ионизации контролируется здесь магнитным полем и колебаниями в диапазоне сотен кГц, а рост амплитуды ионных колебаний не ведет к увеличению плотности ионов – не влияет на температуру электронов.

При небольших изменения магнитного поля происходят и «прыжки» АХЧ: появление, например, колебаний разрядного тока с частотами ~ 5 МГц при переходе 205 Гс $\rightarrow 340$ Гс или, наоборот, раскачка колебаний с частотами вблизи 200 кГц, когда индукция магнитного поля изменяется от 720 Гс до 820 Гс.

Данные, приведенные на рисунках 11 и 12 также подтверждают определяющую роль магнитного поля: разным B_{rA} соответствуют разные частоты с максимальной амплитудой.

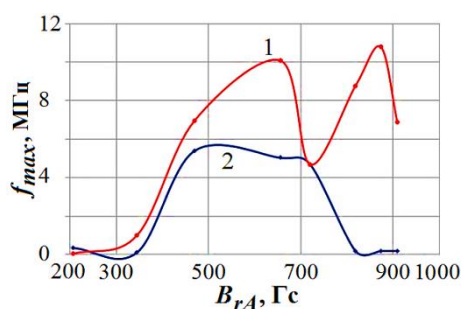


Рисунок 11. Частоты с максимальной амплитудой: $U_d \approx 1100$ В; развертка $2,5$ мкс/дел – верхний диапазон частот; полиномиальная аппроксимация кривых; 1 – ионы; 2 – пояс Роговского.

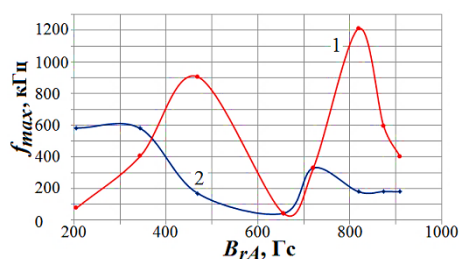


Рисунок 12. Частоты с максимальной амплитудой: $U_d \approx 1100$ В; развертка 100 мкс/дел – нижний диапазон частот; 1 – ионы; 2 – пояс Роговского.

Анализ графиков, показанных на рисунках 11 и 12, и АХЧ, приведенных в статье, позволяет также утверждать, что разрядный ток и ток ионов по-разному «чувствуют» колебания различных частот, по-разному формируют свои АХЧ. Ионы всегда чувствительны к колебаниям в МГц-диапазоне, тогда как колебаний разрядного тока с частотами, большими 5 МГц нет вообще. Это, по-видимому, говорит о том, что в плазме УАС

одновременно реализуются несколько типов неустойчивостей, которые возбуждают электростатические колебания с различными направлениями электрического поля и отличающимися частотами.

В таблице 1 приведены рассчитанные собственные частоты колебаний в плазме неона УАС, которые необходимо будет использовать при последующем анализе причин генерации колебаний в различных режимах $E \times B$ разряда.

Таблица 1

Собственные частоты колебаний в плазме УАС

B_{rA} , Гс	$n/10^6$, см $^{-3}$	ω_{Be} , ГГц	ω_{Bi} , кГц	ω_{pe} , МГц	ω_{pi} , кГц	ω_{LH} , кГц
340	7,5	6,05	164	154	803	819
470	9,66	8,25	223	175	938	938
660	3,48	11,5	312	105	630	630
720	3,76	12,7	343	109	664	664
820	4,55	14,4	390	120	737	737
870	4,7	15,4	416	122	760	760
910	4,99	16	433	126	785	785
930	5,01	16,4	444	126	792	792
970	5,28	17,0	461	130	816	816
990	5,38	17,4	471	131	827	827

Примечание: n – плотность ионов, ω_{Be} – электронно-циклотронная частота, ω_{Bi} – ионно-циклотронная частота, ω_{pe} – электронная плазменная частота, ω_{pi} – ионная плазменная частота; $\omega_{LH} = \sqrt{\omega_{Hi}\omega_{He} \left(1 + \omega_{Hi}^2 / \omega_{pi}^2\right) / \left(1 + \omega_{He}^2 / \omega_{pe}^2\right)}$ – нижнегибридная частота для плазмы малой плотности, как в данном эксперименте, когда $\omega_{He}/\omega_{pe} \sim 10^2$.

Список литературы

1. Choueiri E.Y. Plasma oscillations in Hall thrusters // Physics of Plasmas, 2001. – V. 8, No. 4. – P. 1411–1426.
2. Boeuf J.-P. Physics and modeling of Hall thrusters // Journal of Applied Physics, 2017. – V. 121, 011101.
3. Boeuf J.-P., Smolyakov A. Physics and instabilities of low-temperature $E \times B$ plasmas for spacecraft propulsion and other applications // Physics of Plasmas, 2023. – V. 30, 050901.
4. Strokin N.A., Kazantsev A.V., Bardakov V.M., Thang The Nguyen, and Kuzmina A.S. Jumping the anode layer in the zone of the $E \times B$ discharge // Physics of Plasmas, 2019. – V. 26, No. 7. – 073501.

Оперативный мониторинг уровня воды открытых водоемов на основе технологии ИИС «КУМИР-РЕСУРС» для объектов гидроэнергетики

Николаев А.Ф.^{1,2}, Фискин Е. М.^{1,2}.

1 – Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, Иркутск,

2 – ООО «Научно Технический Центр «КУМИР»
nikolaev-9494@mail.ru

В данной статье содержатся сведения о создании системы оперативного мониторинга уровня воды открытых водоемов, с целью производить своевременную корректировку водоэнергетических режимов эксплуатируемых ГЭС и каскадов ГЭС, в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах. Рассмотрены текущие методы мониторинга, проведен анализ их эффективности. Предложен собственный метод оперативного мониторинга и разработано устройство для этого.

Введение. На сегодняшний день гидроэнергетика является крупнейшим источником производства электроэнергии в стране. Ее доля в общей выработке электроэнергии составляет порядка 18–20%, а в некоторых регионах (Магаданская область, большинство республик Северного Кавказа) на гидроэнергетику приходится более 90 % вырабатываемой электроэнергии. На рисунке 1 показана карта электростанций на территории РФ.



Рисунок 1. Электростанции на территории РФ.

Такая актуальность именно гидроэнергетики вызвана высоким КПД относительно других электростанций и относительно быстрым выходом на рабочий режим после запуска. В таблице 1 сведены значения КПД различных типов электростанций и время выхода на рабочий режим.

Таблица 1 – Сравнение электростанций различного типа

ТИП Электростанции	Время выхода на режим	КПД
ГЭС	2-3 минуты	93-95%
АЭС	не менее 2-3 суток	20-33%
ТЭС	от 3,5 до 16 часов	40%

На территории Иркутской области работает 15 крупных тепловых электростанций и четыре гидроэлектростанции. Особенностью энергосистемы Иркутской области является доминирование гидрогенерации, на которую приходится 73 % всей выработки электроэнергии. На рисунке 2 показано расположение ГЭС и ТЭС.

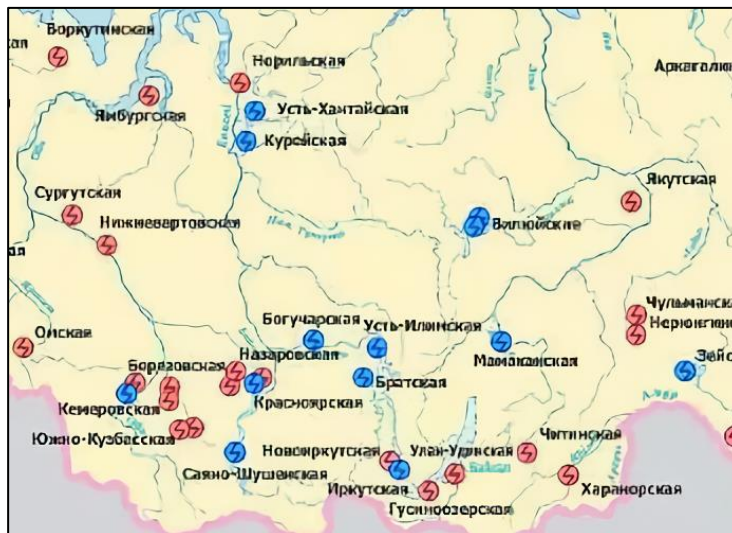


Рисунок 2. ГЭС и ТЭС на территории Иркутской области.

Цель работы. Разрабатываемая система оперативного мониторинга уровня воды приточных вод позволит производить своевременную корректировку водоэнергетических режимов эксплуатируемых ГЭС и каскадов ГЭС, в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах, с целью своевременного отреагировать и предотвратить Экологические, Водохозяйственные, Социальные и Технические ограничения.

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 водоэнергетических 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. Согласно стандарту СТО РусГидро 06.01.84-2013, для объектов гидроэнергетики необходим и является важным правильный расчет водноэнергетического режима работы ГЭС и каскадов ГЭС.

Основная формула расчета по требованиям правил использования водохранилищ приведена ниже:

$$Q_{\text{пр.}ij} - Q_{\text{н.б.}ij} - Q_{\text{исп.}ij} \pm Q_{\text{лед.}ij} \pm \frac{\Delta W_{ij}}{\Delta t_{ij}} + Q_{\text{бок.}ij} - \sum Q_{\text{вп.}ij} = 0$$

Изменение полезного объема водохранилища j -й ГЭС в i -м расчетном интервале времени, определяется по формуле:

$$\Delta W_{ij} = (W_{ij}(z_{\text{в.б.}ij}^{\text{н}}) - W_{ij}(z_{\text{в.б.}ij}^{\text{к}}))$$

В данном случае задается уровень верхнего бьефа на начало расчета $z_{\text{в.б.}ij}^{\text{н}}$, равный фактическому уровню водохранилища, и по данной отметке, пользуясь правилами использования водохранилищ, по диспетчерскому графику задается расход воды в нижний бьеф.

Таким образом, для повышения точности расчетов водноэнергетического режима работы ГЭС и каскадов ГЭС была разработана система оперативного мониторинга уровня воды.

Предварительно был проведен обзор существующих систем мониторинга и систем измерения количества воды в водоемах.

Нашим коллегам из Лимнологического института был составлен отчет “Концептуальные и методические основы мониторинга и прогнозирования уровня режима озера Байкал”, в результате которого были обозначены текущие гидропосты на озере Байкал, а так же существующие проблемы и недостатки в работе данной системы.

На рисунке 3 показана схема гидропостов наблюдений уровневого режима озера УГМС.

В результате анализа данного отчета можно сделать вывод, что для повышения надежности расчета показателей среднесуточного уровня озера, необходимо разместить дополнительные станции во всех пунктах расположения гидропостов УГМС. При введении в эксплуатацию достаточного количества автоматических станций можно будет повысить точность расчета среднесуточного уровня с определением новых весовых коэффициентов учета влияния каждой станции. Затруднен мониторинг в северных районах, где отсутствует сеть GSM, для передачи данных на сервер.

Так же нами был проведен обзор самых современных способов измерения объема вод, один из которых предложен NASA, под названием миссий GRACE, и GRACE-FO, который позволяет оценить объем как наземных водохранилищ, так и подземных бассейнов и рек.

Результат работы изучения эквивалентной толщины мирового океана показан на рисунке 4.



Рисунок 3. Схема гидропостов наблюдений уровневого режима озера УТМС

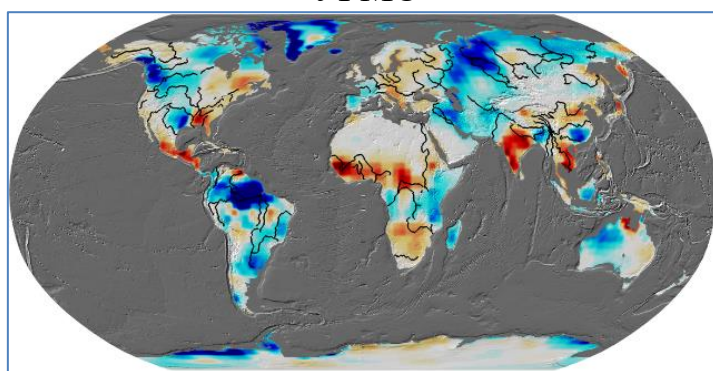


Рисунок 4. Результат работы GRACE при изменении массы поверхности Земли.

На данный момент исследования команды разработчиков направлены на улучшение математических уравнений, численных методов и динамического ядра IFS прогнозной модели.

Таким образом, данный способ помимо инновационного метода мониторинга водных ресурсов планеты имеет ряд факторов, вызывающих ошибки и ограничения в используемой при расчетах модели.

В рамках системы оперативного мониторинга уровня воды приточных вод за основу была взята ИИС «КУМИР-РЕСУРС», в которую было внесено ряд доработок и усовершенствований, а именно:

- 1) Усовершенствована система радиоканальной передачи, а именно произведена замена усилителя CC1120, на более мощный CC1190 с целью увеличения дальности передачи данных по радиоканалу.
- 2) Реализован сетевой протокол задания времени NTP, который обеспечивает механизм синхронизации времени на точках мониторинга с точностью до наносекунд.

Следующий этап заключался в реализации бюджетного способа измерения уровня воды, в результате чего был разработан и запатентован новый способ измерения среднего уровня воды в открытых водоемах и устройство для его осуществления.

На рисунке 5 показана схема измерения уровня воды.

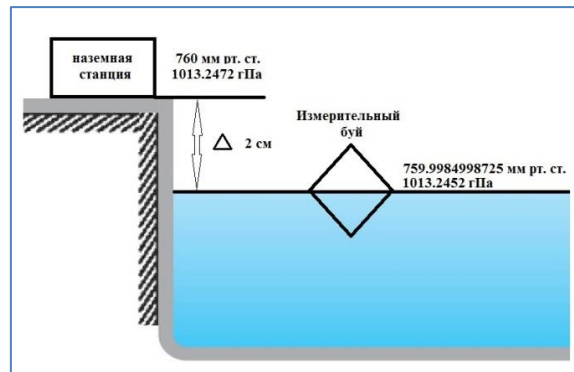


Рисунок 5. Способ измерения уровня воды.

На рисунке 6 показана рабочая область программы AnyLogiq, со встроенной картой озера Байкал, на которой черными треугольниками показано расположение измерительных станций в воде, изображение домика обозначает расположение базовой станция на берегу озера, с заранее известным и фиксированным реперным уровнем, используемым как опорный (базовый) при математических расчетах.

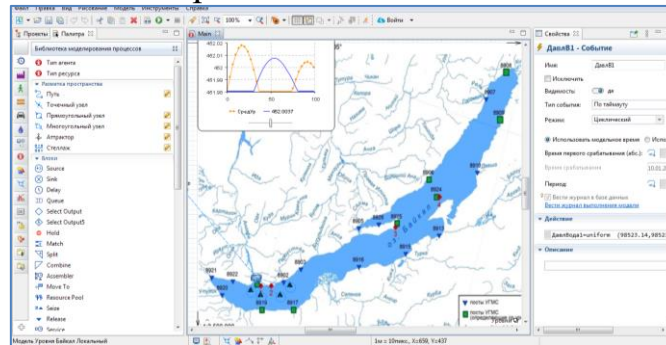


Рисунок 6. Способ измерения уровня воды.

Для реализации измерительной системы в лабораторных условиях был взят датчик атмосферного давления DPS363 на уже готовой отладочной плате.

Внешний вид датчика показан на рисунке 7 слева, а блок обработки информации показан справа, это платформа Arduino NANO.

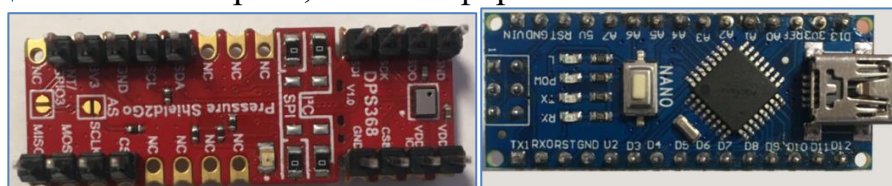


Рисунок 7. Датчик атмосферного давления и блок обработки данных.

В результате проведения лабораторных тестов было установлено, что с 1 датчиком погрешность измерения составила порядка 5 Па, что соответствует погрешности изменения уровня воды в 43 см.

Используя ранее полученный в программе AnyLogiq способ повышения точности, при котором применяются 2 датчика, удалось кратно снизить погрешность измерений, в результате чего она составила 0,2-0,5 Па, что соответствует погрешности изменения уровня воды от 1,7 до 4,3 см. Результаты показаны на рисунке 8.

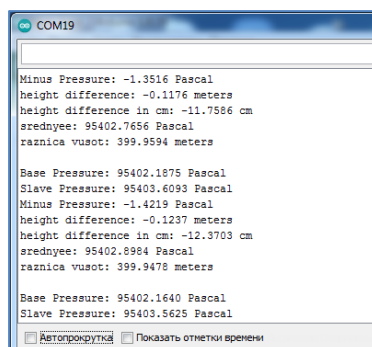


Рисунок 8. Проверка погрешности измерения с 2 датчиками.

Так же все данные измерений можно представить в более удобном виде, на рисунке 9 приведено рабочее окно программы.

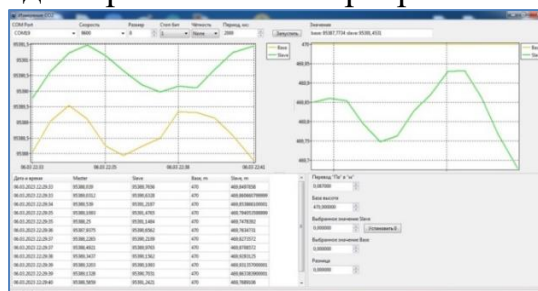


Рисунок 9. Программа представления результатов измерений в виде графика и таблицы.

Так как среднесуточный уровень оз. Байкал, а именно $Z_{в,б}$ 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, на данный момент нами рассматривается перенос измерительного датчика непосредственно в воду, заранее заключенного в герметичную камеру с мембранной перегородкой.

Предварительная идея метода показана на рисунке 10.

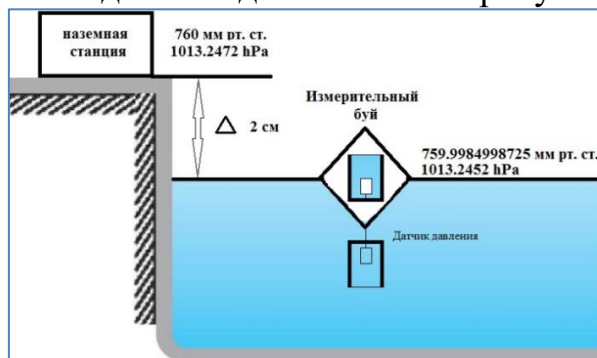


Рисунок 10. Принцип измерения уровня воды.

Первичные результаты лабораторных тестов показаны ниже на рисунке 11 в атмосфере (слева), и в герметичном боксе (справа).

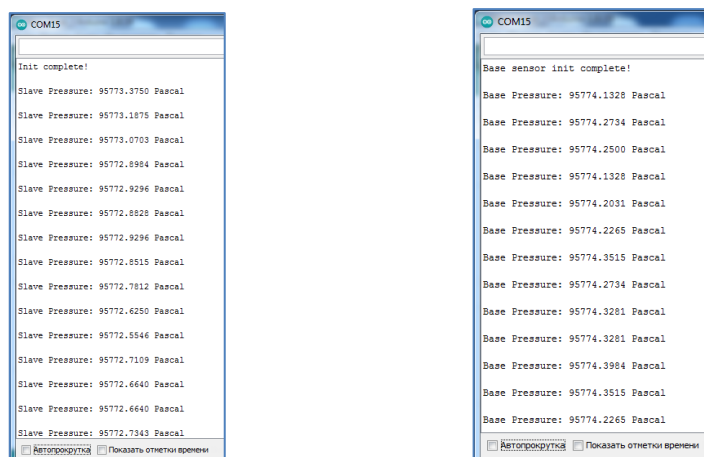


Рисунок 11. Результаты лабораторных тестов.

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%.

Заключение.

В данной работе были показаны этапы разработки системы оперативного мониторинга от модели, в программе AnyLogic, до прототипа устройства и лабораторных испытаний, в которых уже можно применить и исследовать заранее смоделированные методики повышения точности измерений. Показана важность дальнейшего повышения точности измерений уровня верхнего и нижнего бьефа ГЭС, для своевременной корректировки водоэнергетических режимов эксплуатируемых ГЭС и каскадов ГЭС, в долгосрочной, среднесрочной и краткосрочной перспективах, с целью своевременного отреагировать и предотвратить Экологические, Водохозяйственные, Социальные и Технические ограничения.

Дальнейшее увеличение количества точек мониторинга позволит реализовать оперативный контроль уровня воды не только в водохранилище ГЭС, но и контролировать уровень рек, а так же боковой приток, между смежными створами каскада гидроузлов.

За счет увеличения дальности связи радиомодемов, возможно организовать оперативный мониторинг в отдаленных районах, где отсутствует сеть передачи данных GSM.

Реализованный в нашей системе сетевой протокол задания времени NTP, обеспечивает механизм синхронизации времени на точках мониторинга с точностью до наносекунд, что снижает погрешность измерений при обработке данных на сервере.

Список литературы

1. 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.

2. Патент № 2812614. Способ измерения среднего уровня воды в открытых водоемах и устройство для его осуществления: заявл. 01.12.2022 : опубл. 30.01.2024 / А. А. Николаев, Р. А. Белоусов, А. А. Пинкин [и др.] ; заявитель, патентобладатель ФГБОУ ВО "ИРНИТУ", ООО "НТЦ "КУМИР" – Электронная копия доступна на сайте Федерального института промышленной собственности // ФИПС :[сайт]. – URL: <https://www1.fips.ru/iiss/document.xhtml?faces-redirect=true&id=238f40c98e883d7761101c18809f5b7e> (дата обращения: 28.04.2024).

3. Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ «О техническом регулировании» [Электронный ресурс] // Статья: [сайт]. [2024] URL: https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_40241/. (дата обращения 08.04.2024).

4. Стандарт организации СТО РусГидро 06.01.84-2013 от 03.10.2013 №954 [Электронный ресурс] // Статья: [сайт]. [2024] URL: https://volgaltd.ru/images/standart/078_sto-rusgidro-06_01_84-2013_planirovanie-vodnoenergeticheskikh-rezhimov.pdf. (дата обращения 09.04.2024).

5. Стандарт организации СТО 17330282.27.140.015-2008 «Гидроэлектростанции. Организация эксплуатации и технического обслуживания. Нормы и требования» [Электронный ресурс] // Статья: [сайт]. [2024] URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/1b1/4293830931.pdf> (дата обращения 09.04.2024).

6. Стандарт организации СТО 02.01.80-2012 «Гидротехнические сооружения ГЭС и ГАЭС. Правила эксплуатации. Нормы и требования». [Электронный ресурс] // Статья: [сайт]. [2024] URL: https://volgaltd.ru/images/standart/008_sto-rusgidro-02_01_80-2012_pravila-ekspluatatsii-gts-ges-i-gaes.pdf (дата обращения 09.04.2024).

7. Комплекс учета и мониторинга ООО "НТЦ КУМИР" [Электронный ресурс] // Статья: [сайт]. [2024]. URL: <http://ntckumir.ru> (дата обращения 09.04.2024).

8. GRACE - Gravity Recovery and Climate Experiment [Электронный ресурс] // [сайт]. [2024]. URL: <https://www2.csr.utexas.edu/grace/gallery/gravity/> (дата обращения 18.04.2024).

9. РМГ 64-2003. ГСП. Обеспечение эффективности при управлении технологическими процессами. Методы и способы повышения точности измерений.

10. AnyLogic functions [Электронный ресурс] // [сайт]. [2024]. URL: <https://anylogic.help/advanced/functions/index.htm> (дата обращения 20.04.2024).

11. Никитин В.М. Концептуальные и методические основы мониторинга и прогнозирования уровня озера Байкал / В.М. Никитин, Н.В. Абасов, Е.Н. Осипчук и др.// Отчет о научно-исследовательской работе по договору № 2.0110.20.10-нир от 12.10.2020 по крупному научному проекту фундаментальные основы, методы и технологии цифрового мониторинга и прогнозирования экологической обстановки байкальской природной территории.

12. Синхронизация времени через NTP-сервера [Электронный ресурс] // [сайт]. [2024]. URL: <https://www.vniiftri.ru/catalog/services/sinkhronizatsiya-vremeni-cherez-ntp-servera/> (дата обращения 20.04.2024).

13. Вильвовский А.Е. Анализ водно-энергетических режимов и выработки электроэнергии иркутской ГЭС / А.Е. Вильвовский, А.А. Бухаев, А.Ю. Головков, Г.П. Муссонов //Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности производства и использования энергии в условиях Сибири».- Иркутский национальный исследовательский технический университет, 2023, -С. 76-80.

RTKLIV – инструмент для повышения точности навигации подвижных объектов

Федоров М. Э.

Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск,
Российская Федерация
metalgear@inbox.ru

В данной статье рассматривается пост-обработка навигационных сигналов в программном пакете RTKLIV в режиме дифференциальной коррекции координат движущегося объекта. Описаны основные возможности пакета RTKLIV. Приведены результаты эксперимента, с движущимся объектом который двигался в условиях плотной городской застройки. В результате постобработки ошибка позиционирования уменьшена с 5.5 м до нескольких миллиметров на плоскости в режиме кинематики. Проведен анализ доступности навигационных спутников системы GPS и влияние доступности на ошибку позиционирования. В заключении сделан вывод о применении пакета RTKLIV для дифференциальной коррекции координат подвижных объектов.

Введение

Современные глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) помогают решить широкий спектр задач связанных с получением координат как подвижных, так и статичных объектов. Для выполнения большинства задач достаточно стандартной точности, однако некоторые задачи требуют повышенной точности.

На железнодорожном (ЖД) транспорте стоит задача построения цифровой карты зон погрешностей позиционирования подвижного состава по сигналам спутниковой радионавигационной системы в дифференциальном режиме навигации. Для решения этой задачи требуется, во-первых, располагать опорными станциями, которые позволяют корректировать погрешности определения местоположения. И второе, необходимо специализированное программное обеспечение (ПО), которое комбинирует измерения на опорной станции вблизи железной дороги и измерения в навигационном приемнике на борту подвижного состава.

Одной из методик повышения точности является метод Real-time kinematic (RTK), получивший широкое использование в геодезических исследованиях [1]. RTK — это особый метод спутникового позиционирования, который может давать результаты измерений с точностью до сантиметра. Метод заключается в мгновенной обработке спутниковых данных позиционирования с использованием корректирующей информации с наземной станции [2].

Сейчас данный метод активно исследуется для применения и в других отраслях: от исследования ионосферы до улучшения навигации подвижных объектов. ПО используемое для реализации RTK зачастую поставляется производителями навигационных приемников и является платным [3] и в первую очередь решает задачи геодезических измерений. Поэтому требуется найти

удобный инструмент для работы с открытым программным кодом, который можно использовать с разными моделями приёмников и способный решать задачи, возникающие на ЖД транспорте. Таким инструментом может стать программный пакет RTKLIV который позволяет применить метод RTK к сырым навигационным данным как в режиме реального времени, так и при пост обработке. Задача данной работы исследование возможностей пакета RTKLIV и обработка экспериментальных данных, полученных с подвижного объекта для улучшения их точности в модуле RTK POST.

Метод RTK

Сущность метода RTK изображена на рисунке 1. Она заключается в использовании двух навигационных приемников подвижного (ровера) и неподвижного стационарного (базовой станции). Координаты базовой станции должны быть точно определены; она передает по каналу связи (радиомодем, gsm-модем, интернет и др.) набор данных, называемых поправками. Поправки, полученные станцией, и спутниковый сигнал обрабатывается ПО в соответствии с программными алгоритмами и накопленной статистикой спутниковых эфемерид. После чего на ровер с базовой станции передается дифференциальная поправка, уточняющая спутниковый сигнал.

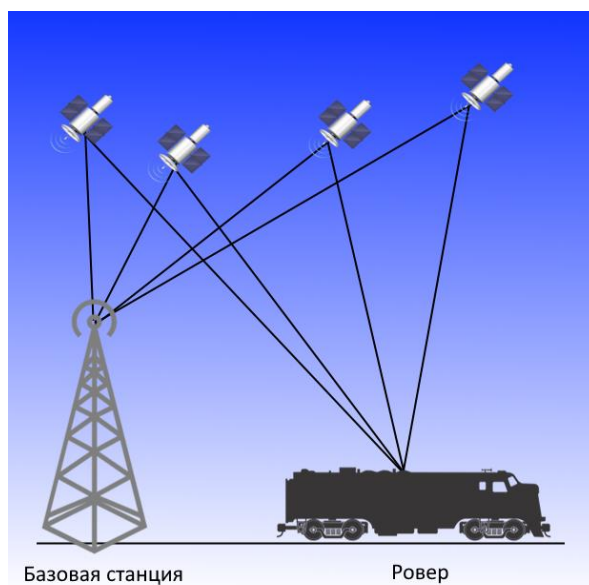


Рисунок 1. Принцип работы RTK

Ровер может воспользоваться этими данными для точного определения местоположения (до 1 см в плане ($1\text{ см} + 1\text{ ppm}$) и 2 см по высоте)

Общие сведения о пакете RTKLIV

RTKLIV — это программа с открытым исходным кодом для стандартного и точного позиционирования с помощью ГНСС (глобальной навигационной

спутниковой системы). RTKLIB состоит из библиотеки программ и нескольких APS (прикладных программ), использующих библиотеки.

RTKLIB позволяет:

- 1) Реализовывать алгоритмы стандартного и точного позиционирования с помощью ГНСС: GPS, ГЛОНАСС, Galileo , QZSS , BeiDou и SBAS.
- 2) Работать в различных режимах позиционирования с помощью ГНСС как для обработки в реальном времени, так и для пост-обработки:
- 3) Поддерживает множество стандартных форматов и протоколов для ГНСС таких как: RINEX, RTCM, NMEA и др.
- 4) Поддерживает формат навигационных сообщений от популярных производителей приемников: NovAtel, Hemisphere, JAVAD и др.
- 5) Получать данные через: Последовательный порт, TCP/IP, NTRIP, FTP/HTTP.

Программа имеет несколько модулей, показанных на рисунке 2.

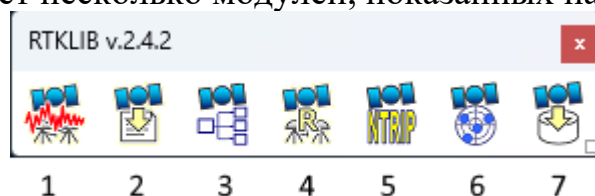


Рисунок 2. Внешний вид интерфейса RTK Lib

- 1-Модуль RTK PLOT, - Построение графиков по результатам обработки
- 2-RTK CONV-RINEX конвертер
- 3 -STRSVR, Сервер передачи данных
- 4-RTK POST, постобработка и анализ данных
- 5-Ntrip Browser, программа для одновременного извлечения, декодирования и преобразования потоков, данных GNSS в реальном времени по протоколу NTRIP
- 6-RTK NAVI, модуль для навигации в реальном времени
- 7-RTK GET Загрузчик данных ГНСС

В данной работе будет рассмотрен модуль RTK POST как средство реализации метода RTK. Для обработки используются файлы формата RINEX. Навигационные данные получены от системы GPS.

Эксперимент

Для проверки работы с RTKLIB был проведён эксперимент. Цель эксперимента: оценить возможности режима RTK для позиционирования подвижных объектов, которые движутся по заранее известной жестко заданной траектории, в частности, автомобильной дороге маршрут движения и положение базовой станции представлены на рисунке 3. В качестве ровера выступил автомобиль с установленной антенной и навигационным приемником Septenrio POLARX5S.

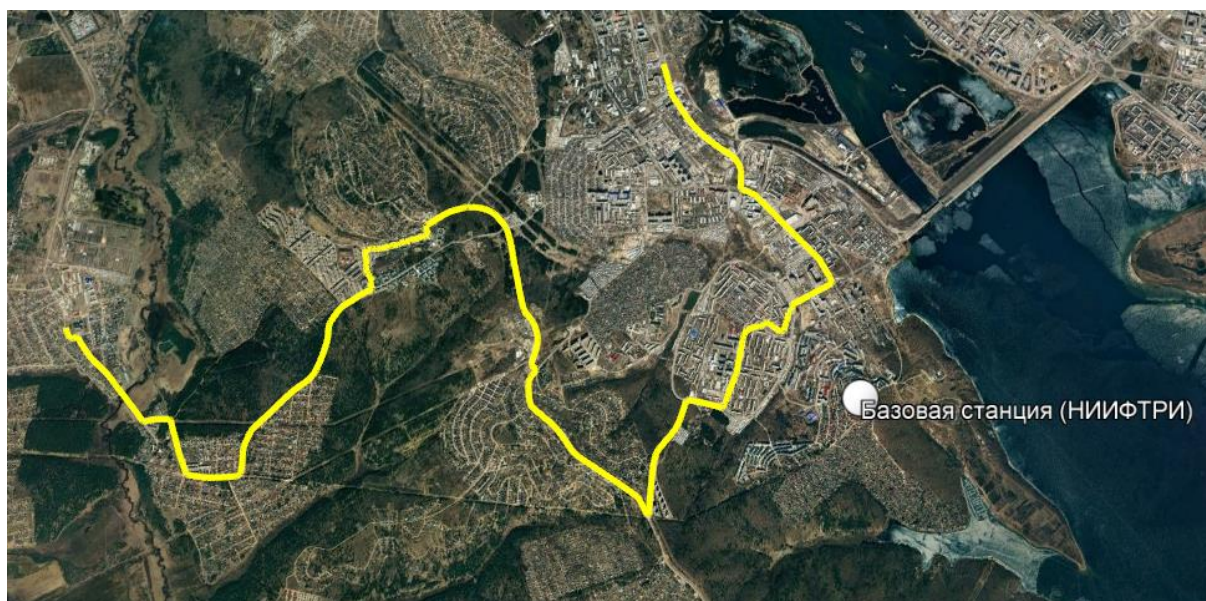


Рисунок 3. Маршрут движения «ровера»

POLARX5S — это многочастотный приемник, предназначенный для мониторинга ионосферы и космической погоды. Разработанный на основе ультрасовременного кварцевого генератора со сверхнизким уровнем шума обеспечивающий высококачественное отслеживание актуальных (ГНСС GPS, ГЛОНАСС и Galileo). Маршрут движения содержал участки с очень сильными зонами многолучевости, экранирования и блокирования сигнала спутника в условиях плотной и городской застройки.

Базовая станция располагалась в ВНИИФТРИ в качестве приемника использовался JAVAD SIGMA. JAVAD SIGMA оптимально подходит для реализации стационарной базовой станции для записи архива спутниковых наблюдений на ПК, одновременной работы в RTK по каналам GSM и Internet, с подключением неограниченного числа роверов.

Полученные данные обрабатывались пакетом RTKLIV в режиме постобработки.

Результаты

После обработки была получена погрешность измерений по широте, долготе и высоте. Поскольку задача определения координат подвижного состава железных дорог лежит в плоскости поверхности Земли для оценки была выбрана круговая погрешность которая определяется по формуле:

$$sd_r = \sqrt{sd_n^2 + sd_e^2},$$

где sd_r -круговая погрешность, sd_n -погрешность измерений по широте, sd_e — погрешность измерений по долготе

Круговая погрешность измерений без коррекции в режиме автономной работы приемника рисунок 4.



Рисунок 4. Круговая погрешность измерений в режиме автономной навигации.

Погрешность измерений составила 5.5 метров что является стандартной точностью для навигации в таком режиме.

В режиме RTK погрешность кардинально снизилась до нескольких миллиметров рисунок 5.

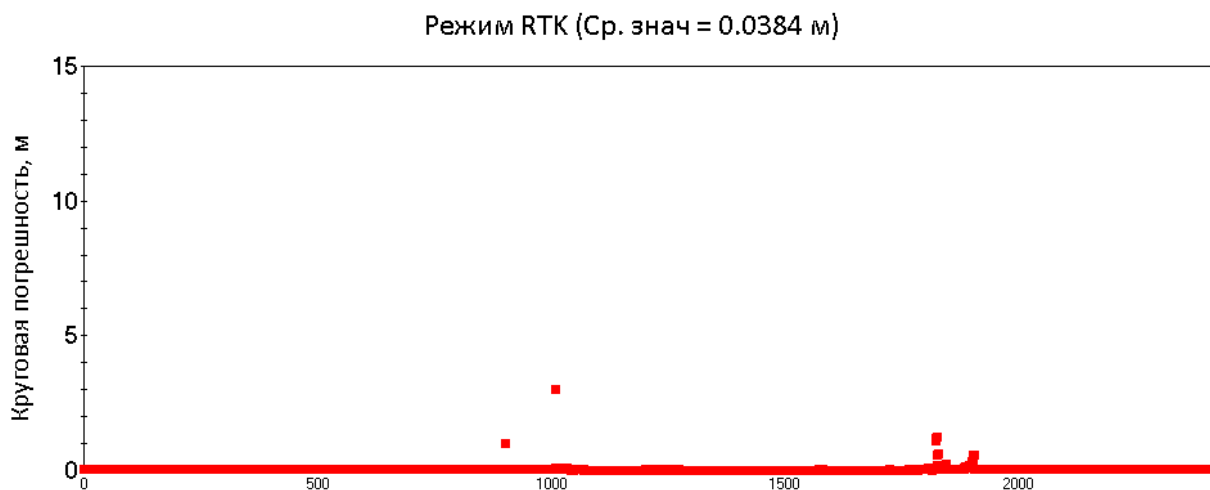


Рисунок 5. Круговая погрешность измерений в режиме автономной навигации.

На рис.5 можно заметить выбросы скорее всего они связаны с падением числа видимых спутников из-за проезда автомобиля в арки домов и в целом со сложными условиями приема навигационного сигнала. Уровень DOP (dilution of precision) описывает геометрического взаиморасположения спутников относительно антенны приёмника. Величина этого параметра показана на рисунке 6.

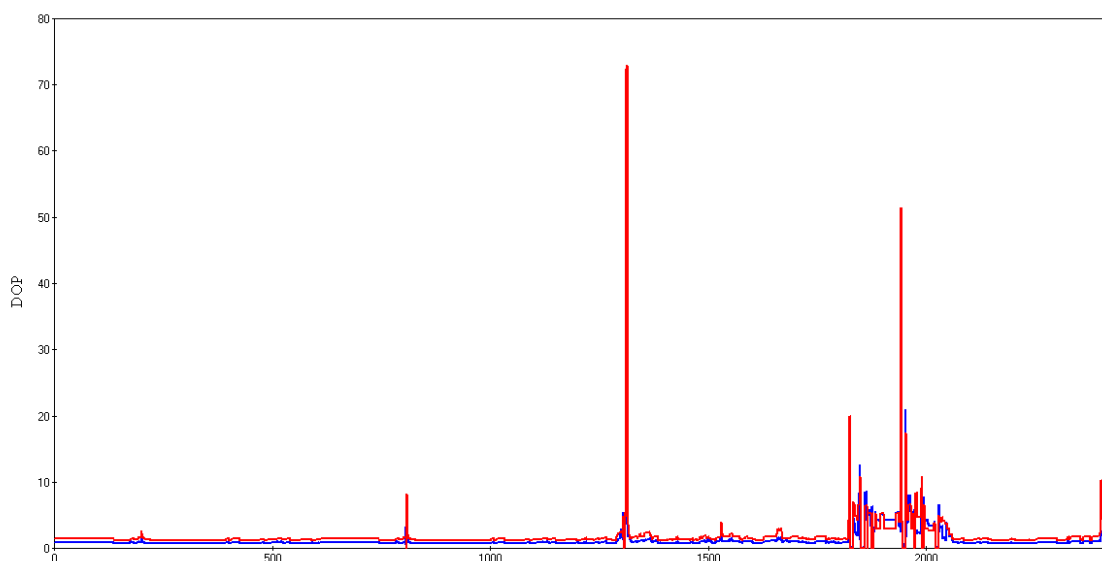


Рисунок 6. Снижение точности навигации (HDOP красный цвет (horizontal DOP) — снижение точности в горизонтальной плоскости, PDOP (position DOP) синий цвет — снижение точности по местоположению)

Идеальные условия приема сигналов ГНСС достигаются при значениях DOP меньше 1, чем больше этот показатель, тем ниже точность навигации

Заключение

RTKLIB— является удобным инструментом для реализации дифференциальной коррекции координат и может быть использован для выполнения стоящих перед нами задач. Применение RTK позволяет снизить погрешность измерений навигационных приемников с нескольких метров до нескольких сантиметров в дифференциальном режиме. Это позволит улучшить определение местоположения локомотивов и реализовать интервальное регулирование движения поездов при условии создания сети базовых станций.

Благодарности

Работа выполнена за счет средств, выделенных на выполнение госзадания тема PLVN-2024-0005.

Список литературы

1. Антонович К.М. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии. Т. 2. -М.: Картогеоцентр; Новосибирск: Наука, 2006. -360 с.
2. Exploring ultra-low cost precision GPS with RTKLIB and Ublox receivers / RtkLib Explorer – URL: <https://rtklibexplorer.wordpress.com> (дата обращения 20.05.2024).- Текст: электронный.
3. Малютина К.И. Сравнение бесплатной программы rtklib с коммерческим программным обеспечением для постобработки гнсс-измерений / К.И. Малютина, С.О. Шевчук – интерэкпо гео-сибирь. 2017. – Т.1 №2. – С. 113–124

Исследование направленных свойств КВ антенн по измерениям в ближней зоне, полученным с привлечением БПЛА

Ермаков В.Ю., Лебедев В.П.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

ermakov@mail.iszf.irk.ru, lebedev@mail.iszf.irk.ru

Антенные системы являются важными устройствами систем связи и научных инструментов. Важными характеристиками антенн являются диаграмма направленности, поляризация и для некоторых систем фазовый центр антенны. В статье представлен алгоритм программы обработки измеренного сигнала. Приводятся результаты измерения в ближней зоне антенн типа «Дельта» с привлечением беспилотного летательного аппарата DJI Matrice 100. Также результаты сравниваются с результатами моделирования антенн. Получены первые результаты определения фазового центра антенны. Перечислены улучшения необходимые для более точного определения последнего.

Введение

Радиотехнические устройства используемые для систем связи и для измерительных радиотехнических инструментов одним из важных устройств, входящих в их состав, являются антенные системы. Важной характеристикой таких систем является её диаграмма направленности (ДН) и поляризация. ДН напрямую зависит от конфигурации антенной системы. Более того, ДН может меняться из-за стоящих рядом объектов, из-за других электрических параметров среды распространения и др. Калибровку антенных систем небольшого размера осуществляют в безэховых камерах. Если размер системы большой, осуществляли путём облёта на вертолёте или аэростате. Последним на смену пришли беспилотные летательные аппараты (БПЛА). В системах, где требуется точно определять фазовые характеристики сигнала – важной характеристикой антенны является фазовый центр антенны (ФЦ). В настоящей статье определим амплитудные характеристики исследуемых антенн, сравним их с моделью, а также определим ФЦ по измерениям.

Исследуемые антенны

Проводилась калибровка КВ антенн типа «Дельта», развернутых в наблюдательном пункте Торы, расположенном на территории республика Бурятия в 152 км от Иркутска. Измерения КВ антенн выполнялись методом облёта с привлечением БПЛА DJI Matrice 100, с закрепленным на корпусе БПЛА передатчиком и антенной (электрический диполь). Измерения проводились на частотах 2, 3, 4, 5.5, 7 МГц для различных поляризаций электромагнитного поля, в поляризации и паразитной-поляризации и в двух плоскостях, параллельно и перпендикулярно плоскости антенн.

Конструкция приёмной антенны «Дельта» представляет собой равнобедренный треугольник с основанием длиной 36 м (r), высотой 9 м (h),

высота подвеса антенны составляет 1.5 м (H), рисунок 1а. В центре основания через согласующий симметрирующий трансформатор происходит запитка антенны, а на вершине над основанием подключена резистивная нагрузка номиналом 900 Ом. Конструкция передающей «Дельты»: от точки питания антенны, подвешенной над землей на расстоянии 1.5 м (H_0), в стороны отходят два луча длиной по 48 м (r) на высоту подвеса 3 м (H_1). Из последних точек, два луча соединены над точкой питания на высоте 18 м (h), в точке подключения резистивной нагрузки, рисунок 1б.

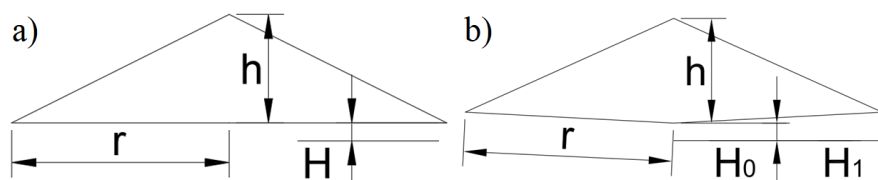


Рисунок 1. Конструкция измеряемых антенн: а) Приёмная антенна типа «Дельта»; б) Передающая антенна типа «Дельта»

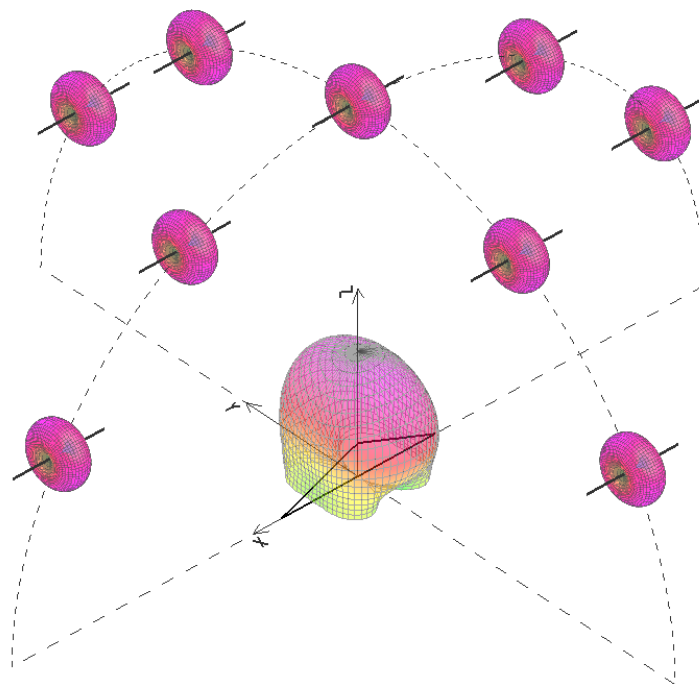


Рисунок 2. Схема облёта исследуемых антенн типа «Дельта».

Траектория облёта представляет собой полукруг с радиусом от предполагаемого ФЦ антенны 250 м, рисунок 2. В центре системы координат чёрной линией изображена антенна типа «Дельта», поверх неё нанесена её диаграмма направленности (ДН). Пунктирной линией нанесены полукруговые траектории, в плоскости XZ в плоскости антенны, в плоскости YZ перпендикулярно плоскости антенны. На траекториях в некоторых точках нанесены, чёрной жирной прямой – передающая антенна квадрокоптера, и её тороидальная ДН. Положения передающей антенны показывают исследование антенн «Дельта» в поляризации.

Модель принятого сигнала исследуемыми антеннами

Траектория облёта антенн строится относительно предполагаемого ФЦ антенны. Из-за различных факторов, например, другие электрические параметры подложки, стоящие рядом с антенной объекты, и др., реальный ФЦ может быть смещен и тогда некоторые параметры сигнала будут зависеть не от расстояния \vec{r}_0 , а от расстояния \vec{r}' , как показано на рисунке 3.

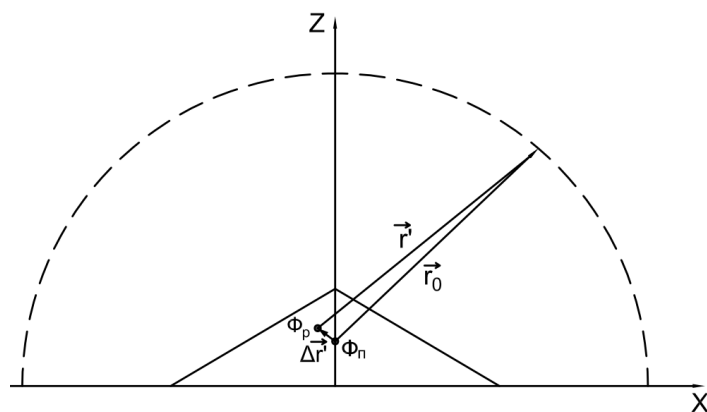


Рисунок 3. Расстояние от реального ФЦ антенны до квадрокоптера.

Запишем какие параметры входят в принятый сигнал с учётом вышесказанного

$$s(t) = A(\vec{r}_0(t) + \Delta\vec{r}) \cdot e^{j \cdot (\omega_0 \cdot t + \Delta\omega(t) \cdot t - \vec{k} \cdot (\vec{r}_0(t) + \Delta\vec{r}) + \Phi(\vec{r}_0(t) + \Delta\vec{r}) + \varphi_0)} + N_0$$

где $A(\vec{r}_0(t) + \Delta\vec{r})$ – амплитуда принятого сигнала; ω_0 – круговая частота несущего колебания; $\Delta\omega(t)$ – изменение частоты, связанное с нестабильностью генератора несущего колебания; \vec{k} – волновое число; $\Phi(\vec{r}_0(t) + \Delta\vec{r})$ – фазовая диаграмма антенны; φ_0 – начальная фаза несущего колебания; N_0 – шум;

Обработка сигнала. Фильтрация шума

Исходный массив с сигналом, разбиваем на пакеты сигнала, длиной 2^n (n обычно равно 12). Для получения амплитудной динамики сигнала, достаточно пропустить пакеты сигнала через дискретное преобразование Фурье (ДПФ) и выделить в каждом спектре пакета максимальную амплитуду. Для получения фазовой динамики сигнала необходимо избавиться от шума чтобы определить реальную частоту несущего колебания, и удалив несущее колебание определить динамику фазы сигнала.

Для фильтрации шума используется пакетная обработка сигнала. Структурная схема программы приведена на рисунке 4. Исходный пакет сигнала пропускаем через блок быстрого преобразования Фурье (БПФ), получив спектр, определяем частоту ω_p с максимальной амплитудой. Выделенная частота конфигурирует блоки преобразования частоты, расположенные справа и слева от блока фильтра низкой частоты (ФНЧ). Несущее колебание в пакете сигнала переносится на нулевую частоту или близкую к ней, после преобразователя частоты ФНЧ фильтрует шум. ФНЧ представляет

собой КИХ (FIR) фильтр с окном Блэкмана, порядок фильтра 4001, частота среза 10 Гц. Особенность данного фильтра заключается в его нулевой фазе в полосе пропускания.

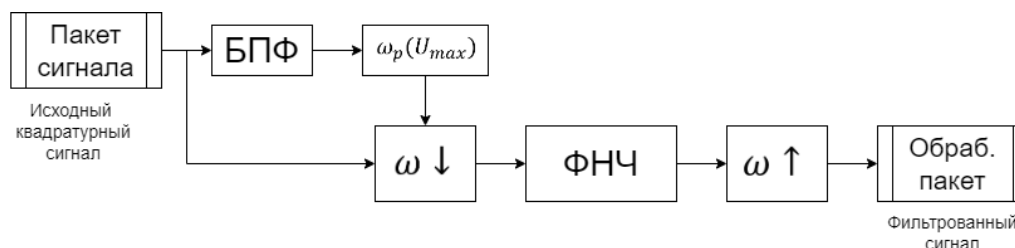


Рисунок 4. Структурная схема блока фильтрации пакетов сигнала

После фильтрации, возвращаем несущее колебание на прежнюю частоту для удобства анализа. На выходе блока фильтрации получаем фильтрованные пакеты сигнала.

Для определения частоты дискретизированного сигнала после фильтрации объединяем пакеты сигнала в один массив сигнала и пропускаем весь массив через частотомер, структурная схема программы приведена на рисунке 5. На выходе получаем массив сигнала с постоянной частотой.

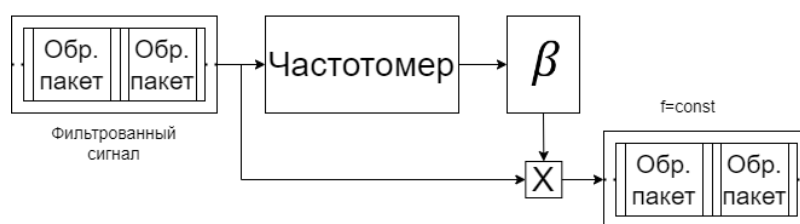


Рисунок 5. Структурная схема блока выравнивания частоты

Определив частоты каждого периода сигнала, определяем скорость изменения частоты β в блоке " β ".

$$\beta_n = \frac{\omega_n - \omega_{n-1}}{t_n - t_{n-1}}$$

где n – номер отсчёта, начиная с 1.

Рассмотрим, как меняется частота в процессе выполнения одного облёта. На рисунке 6 продемонстрирован график зависимости частоты в Гц от времени в секундах. Чёрные точки показывают значение частоты одного периода сигнала. Видны всплески изменения частоты (до 5 Гц), связанные с работой ионозонда недалеко от исследуемых антенн. Вначале и в конце измерения, т.е. когда БПЛА находится близко к поверхности земли, частота меняется сильнее всего, до 1 Гц. С набором высоты предел изменения частоты сужается, т.к. соотношение сигнал/шум увеличивается. Красными точками показано значение частоты 1-го пакета фильтрованного сигнала. Синими точками показано значение частоты в 1 пакете после выравнивания частоты.

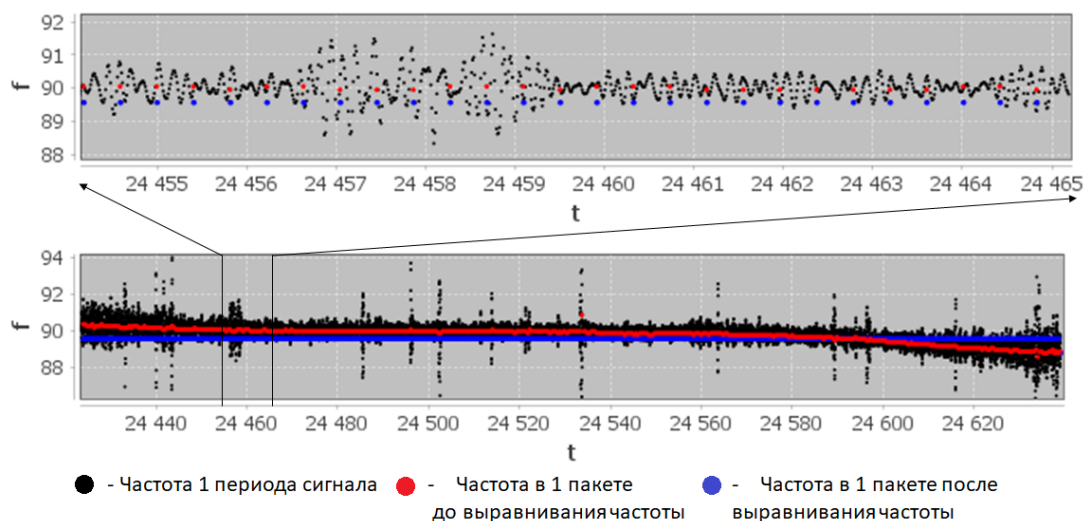


Рисунок 6. Изменение частоты в процессе облёта передающей «Дельты»

На основании рис. 6 можно сделать вывод, что частота в процессе облёта меняется в больших пределах, что будет негативно сказываться на точном определении динамики фазы сигнала.

Результаты обработки, амплитудная динамика сигнала.

Амплитудная динамика сигнала при пролёте на высоте 250 м при ранее указанных частотах, является ближним полем антенн. Рассмотрим результаты при облёте приёмной антенны типа «Дельта».

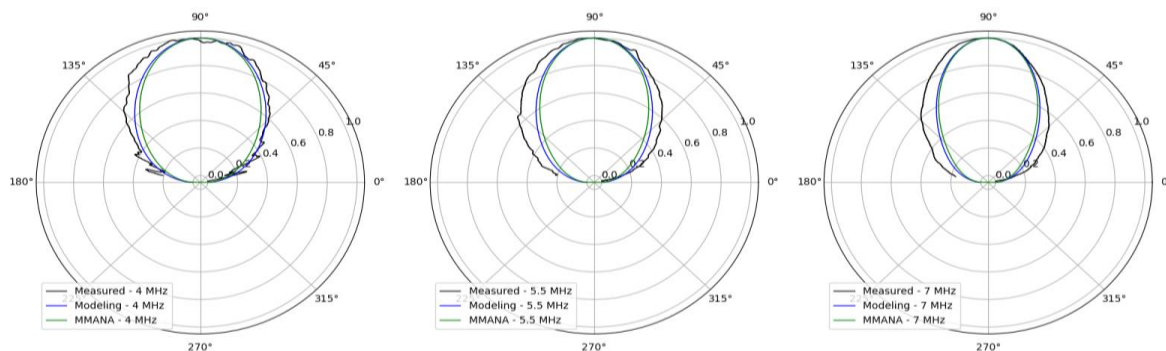


Рисунок 7. Пролёт параллельно плоскости приёмной антенны «Дельта»

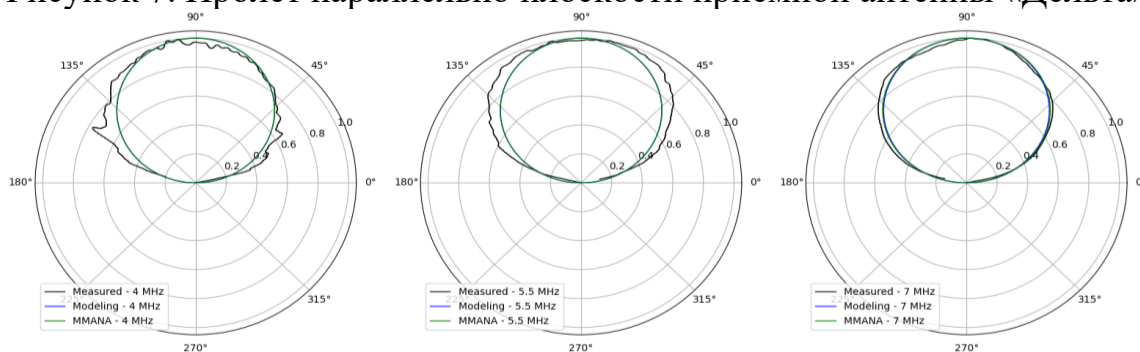


Рисунок 8. Пролёт перпендикулярно плоскости приёмной антенны «Дельта»

На рисунках 7-8 и 9-10 продемонстрировано ближнее поле антенны (чёрным цветом), полученное при параллельном/перпендикулярном облётах в поляризации, на частотах 4, 5.5 и 7 МГц. Также нанесены результаты моделирования ближнего поля антенны (синим цветом) и результаты моделирования ДН, полученные в специализированной программе моделирования антенн MMANA-GAL (зелёным цветом). Отметим, что MMANA-GAL не позволяет посчитать поле в ближней зоне, в нашем сравнении позволяет увидеть ДН антенн, что очень полезно. А наше моделирование выполнено с учётом идеальной земли и без учёта рядом стоящих конструкций.

По результатам пролёта рисунка 7 видим, что с увеличением частоты ширина луча уменьшается, и при реальных измерениях, и в моделировании. На более высокой частоте (7 МГц) кривая измерений более гладкая, меньше влияния на поле от рядом стоящих объектов. Последнее видно и на рис. 8. Наша модель описывает похожую форму реального измерения. MMANA показывает что ДН в параллельной плоскости будет немного уже.

Рассмотрим результаты облёта в плоскости передающей антенны «Дельта», рисунок 9. С увеличением частоты направленные свойства антенны ухудшаются. На частоте 4 МГц реальные измерения и наша модель, показывают, что появляются боковые лепестки на низких углах места. С увеличением частоты до 5.5 МГц, величина боковых лепестков значительно увеличивается. MMANA показывает, что усиление вверх значительно уменьшится. На 7 МГц амплитуда боковых лепестков становится больше, чем центральный лепесток и на низких углах места появляются другие боковые лепестки. MMANA показывает что усиление вверх будет минимальным.

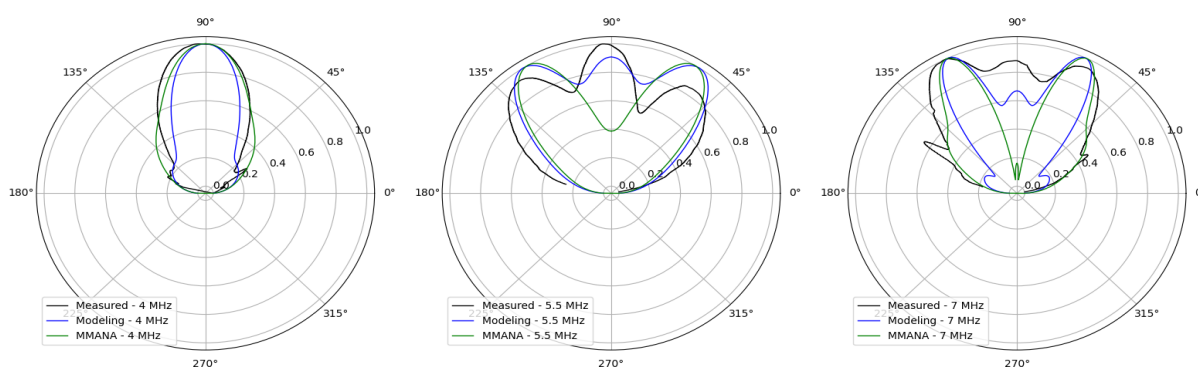


Рисунок 9. Облёт параллельно плоскости передающей антенны «Дельта»

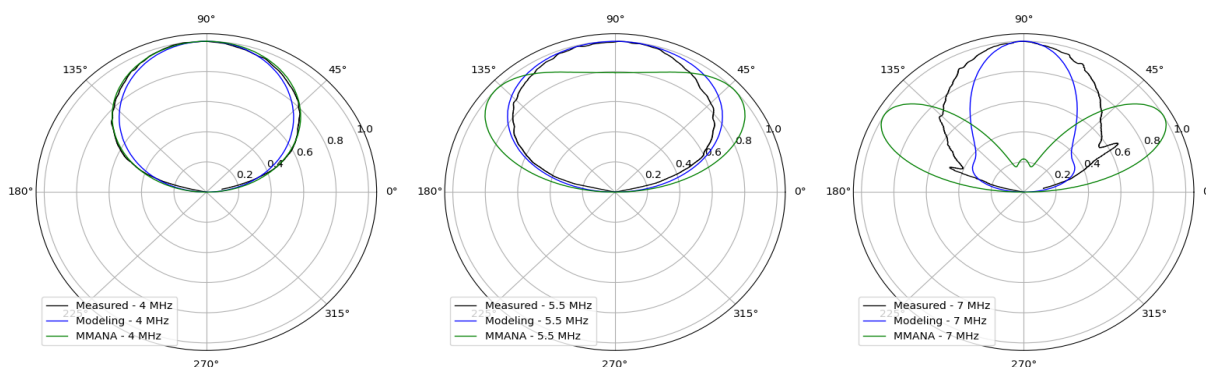


Рисунок 10. Облёт перпендикулярно плоскости передающей антенны «Дельта»

В перпендикулярной плоскости, рисунок 10, на частоте 4 МГц, моделирование хорошо описывает кривую реальных измерений. На частоте 5.5 МГц MMANA показывает, что максимальное усиление ДН направлено в стороны. На частоте 7.7 МГц на низких углах места появляются боковые лепестки, ДН имеет 2 лепестка с максимальным усилением и минимальным усилением вверх.

Смещение фазового центра антенны.

Для определения фазового смещения была написана программа моделирования измерений, в которой можно изменить положение ФЦ и увидеть результаты фазовой динамики сигнала. Для автоматического определения смещения ФЦ в программе присутствует алгоритм, который подбирает смещения по осям X, Y, Z так, чтобы кривая реальной фазовой динамики сигнала наиболее совпадала с моделью. Результаты обработки после алгоритма рис. 5 и моделирования измерений с автоподбором параметров продемонстрированы на рисунках 11-12.

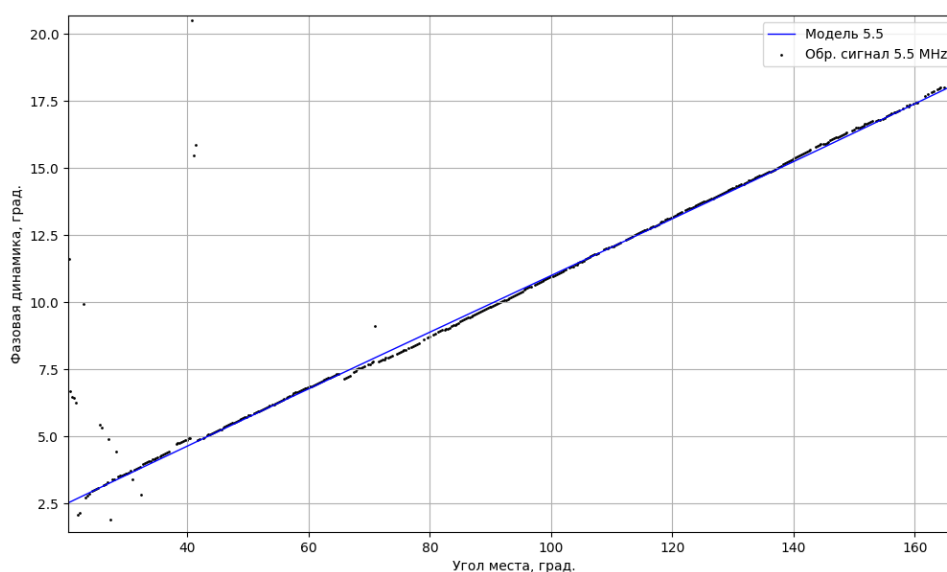


Рисунок 11. Определение фазового центра измерения передающей «Дельты» на частоте 5.5 МГц, пролёт параллельно антенне

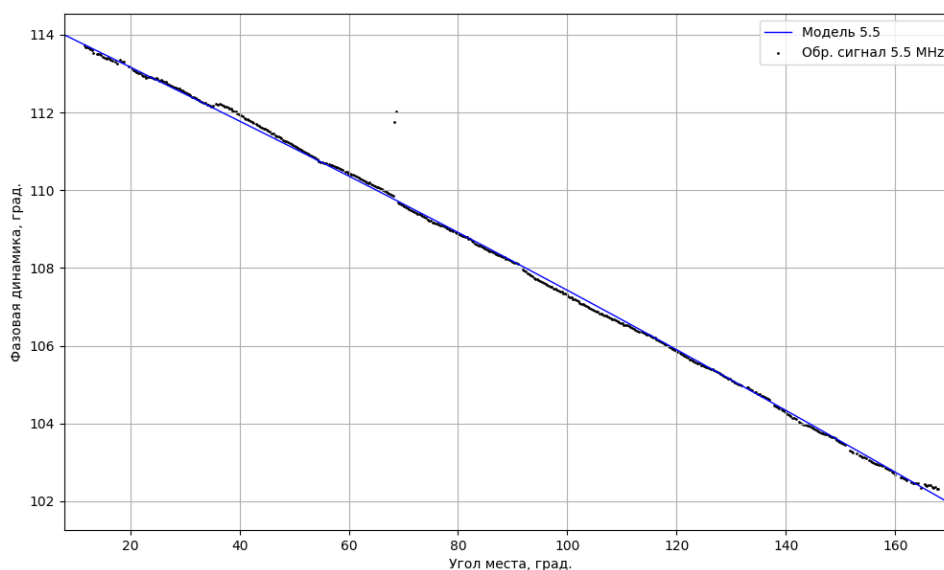


Рисунок 12. Определение фазового центра измерения передающей «Дельты» на частоте 5.5 МГц, пролёт перпендикулярно антенне

Алгоритм показал, что смещение реального ФЦ на рис. 11 составляет: по оси X на 4 см в сторону конца измерений. Смещение реального ФЦ на рис. 12 составляет: по оси Z на 5 см ниже предполагаемого ФЦ.

Заключение

Для определения амплитудной динамики сигнала, т.е. определения ДН или ближнего поля требуется лишь минимальное соотношение сигнал/помеха.

Для точного определения реального фазового центра антенны необходимо:

1. Иметь высокую стабильность генератора несущего колебания.
2. Точно определять координаты БПЛА для точной оценки набега фазы, при выполнении калибровки точность определения положения составляла 0.5 м по высоте и 2.5 м по горизонтали, при такой точности ошибка определения угла может составлять до 21 град.

Список литературы

1. Лебедев В.П. Измерение диаграммы направленности КВ антенн методом облета с привлечением беспилотного летательного аппарата DJI Matrice 100 / Лебедев В.П., Подлесный А.В., Цедрик М.В., Куркин В.И. // Всероссийская открытая научная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн» - Муром 2022 г. DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-538-545

Разработка базовой станции для мониторинга погодных условий на базе ESP32

Иванов В.А., Ченский А.Г.

Иркутский национальный исследовательский технический университет, г.

Иркутск, Российская Федерация

vityared@mail.ru, zavmts@ex.istu.edu

Службы метеорологии информируют население о погодных условиях в их регионах, однако если требуется точные мгновенные значения скорости и направления ветра, температуры, влажности или давления, показания метеорологов могут быть мало информативны, ведь показывают усредненные по времени и местности значения. К тому же, есть отдаленные области, где может не быть метеостанций, показывающих корректные погодные условия в настоящий момент времени, а ставить дорогостоящее оборудование в труднодоступных районах нерационально. В статье выполнен подбор необходимого оборудования для мониторинга погодных условий, на основе этого оборудования написана программа, произведен обзор программы проекта.

Введение

Проектом данной выпускной работы является стационарная метеостанция на базе нескольких датчиков и микроконтроллера. Разумеется, касательно любого проекта встает вопрос экономики. И этот тезис является ответом на вопрос «для чего нужен этот проект, если уже готово множество метеостанций по всему миру?», ведь метеостанции, используемые, например, в Росгидромет, являются дорогостоящим оборудованием. На рис. 1 указана карта метеостанций Росгидромет [1].

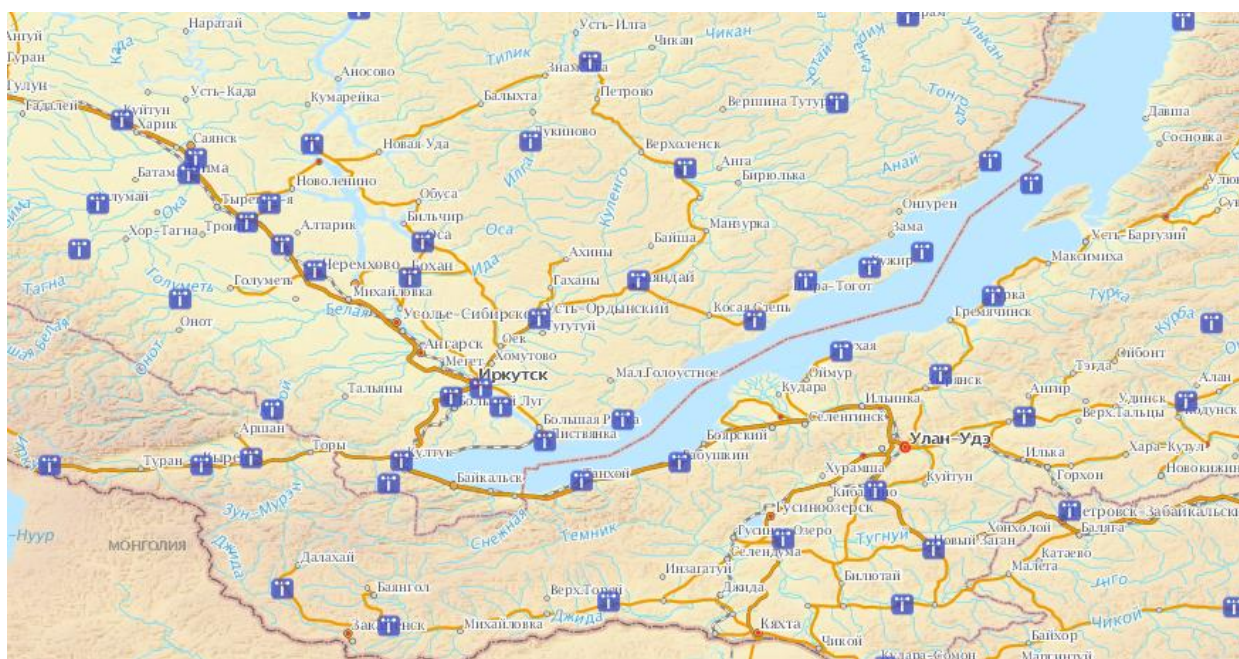


Рисунок 1. Действующие метеорологические станции сети Росгидромет

Реализация проекта и выбор оборудования

Данный проект позволяет сэкономить на комплектующих, так как стоимость датчиков и прочих компонентов, используемых для реализации разработки, в среднем менее одной тысячи рублей. Небольшая стоимость и гибкость в использовании делает микроконтроллеры и разного рода датчики крайне многофункциональными и удобными инструментами для решения различных проблем. Ключевым моментом данной работы является интернет вещей (IoT), посредством которого и реализуется вся работа, его наличие в данном проекте исключает необходимость постоянного участия человека, что делает мониторинг максимально автономным.

Перед тем, как приступить к работе, требуется составить блок-схему реализуемого проекта, а также подобрать надлежащее оборудование. На рис. 2 указана структурная схема блока мониторинга, которая и представляет из себя интернет вещей в данном проекте.

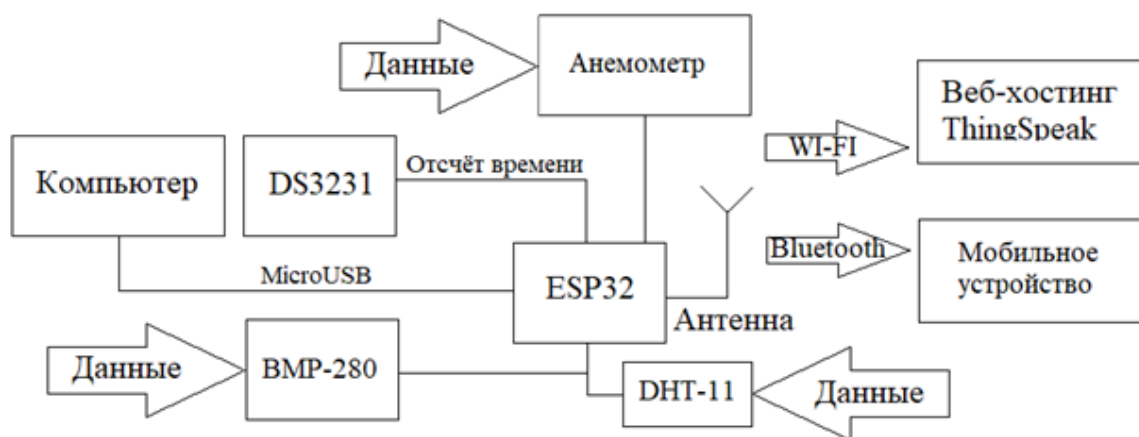


Рисунок 2. Структурная схема проекта

Все используемые датчики подключаются через шину 1-wire к микроконтроллеру ESP32, в который загружена программа, выполняющая работу системы. Получаемый массив данных с датчиков обрабатывается микроконтроллером, после чего высылает их на удаленный web-сервер ThingSpeak, где можно будет в реальном времени дистанционно анализировать получаемую информацию. Помимо этого, в проекте предусматривается получать данные напрямую посредством Bluetooth, высылая данные параллельно на мобильное устройство, находящееся в непосредственной близости от самой станции. Связь между облачным сервером Thingspeak и станцией решено реализовать через сети Wi-Fi, необходимый модуль уже встроен в используемый микроконтроллер ESP32. Модуль Bluetooth также встроен входит в комплектацию ESP32, он будет использоваться в качестве резервного способа связи, для решения возможной проблемы временного отсутствия связи со станцией. Связь через Bluetooth будет полностью дублировать отправляемые данные через Wi-Fi на облачный сервер. Что касается одновременной работы Bluetooth и Wi-Fi, в микроконтроллере одна антенна и она используется для обеих сетей одновременно. Это, в свою

очередь накладывает ограничения либо на пропускную способность, либо на временную задержку. Но поскольку передаваться будут лишь численные значения с небольшой группы датчиков, для которых не потребуется большая пропускная способность, проблема одновременной работы Bluetooth и Wi-Fi встает на второй план. Для повышения достоверности получаемых данных было предпринято подключение модуля реального времени, который будет ставить метки времени для показателей датчиков, тем самым синхронизируя их по времени.

Микроконтроллер является ядром проекта, так как выполняет все вычисления и обработку получаемых данных, именно микроконтроллер содержит в себе код программы, которую выполняет реализуемая система. Для данного проекта оптимальным вариантом является микроконтроллер ESP32. Посредством сравнения с аналогичными устройствами, например, raspberry, AVR, ELM32 и т.п. можно прийти к выводу, что данный микроконтроллер выполняет все необходимые функции, при этом является экономным в плане энергопотребления и стоимости. ESP32 имеет 32-битный двухъядерный процессор, оперативную память от 4 МБ до 16 МБ и 520 кБ оперативной памяти [2].



Рисунок 3. Микроконтроллер ESP32

Для измерения температуры воздуха и атмосферного давления выбран следующий датчик: BMP-280, модуль представляет из себя высокоточный цифровой измеритель атмосферного давления с напряжением питания 1,71-3,6 В и пределами измерения давления 300hPa – 1100hPa (± 0.12 hPa), что эквивалентно диапазону от -500 до 9000 м над уровнем моря, при этом диапазон измерения температуры: $-40^{\circ}\text{C} \dots +85^{\circ}\text{C}$ ($\pm 0.01^{\circ}\text{C}$). Его малые размеры, низкое энергопотребление и высокая измерительная способность удовлетворяют решению задачи реализуемого проекта. Помимо способности измерять показания атмосферного давления, разработчик наделил BMP280 возможностью определять температуру окружающей среды. Модуль BMP280 был разработан фирмой как более технологичная модель своего предшественника BMP180. Данная модификация, в отличие от своего

младшего брата, предоставляет пользователю 2 последовательных интерфейса обмена данными (SPI и I2C) [4].

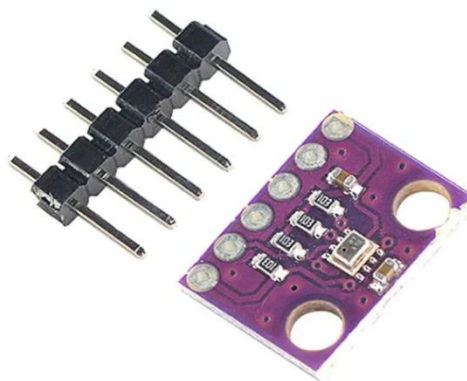


Рисунок 4. Датчик температуры и давления BMP-280

Функцию измерения влажности воздуха в данном проекте выполняет датчик влажности DHT-11. Находящийся внутри чип может выполнять аналого-цифровые преобразования и выдавать цифровой сигнал, который считывается посредством микроконтроллера. Модуль использует напряжение питания от 3 до 5 В, измеряет влажность в диапазоне от 20% до 80%, с погрешностью до 5%. Датчик влажности DHT-11 имеет один цифровой выход, исходя из чего понятно, что снимать показания можно не чаще, чем раз в 1-2 секунды. Выбор модуля обусловлен тем, что он в достаточной мере выполняет требуемые задачи, хотя есть более современный аналог DHT-22, у которого лучше диапазон измерений, а также меньше погрешность, но вдвое меньше частота замеров, также цена DHT-11 выше, чем у аналога. [5]

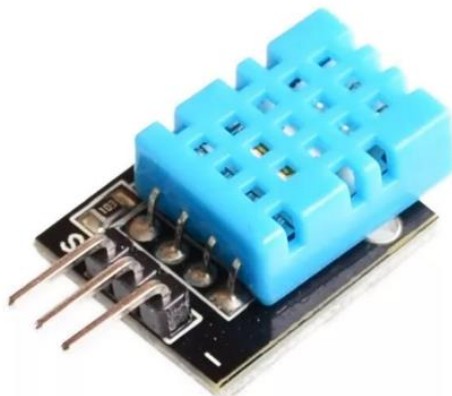


Рисунок 5. Датчик влажности DHT-11

Немаловажной деталью в системе мониторинга является синхронизация получаемых данных со временем. Микросхема DS3231 представляет собой высокоточные часы реального времени RTC со встроенным кварцевым генератором с температурной компенсацией, благодаря чему уход времени составляет всего ± 2 минуты за год. Микросхема использует широко

распространенный интерфейс передачи данных I2C. Поддерживается стандартная (100 кГц) и высокая (400 кГц) скорость передачи данных. Микросхема использует напряжение питания в диапазоне от 2,3 до 5,5 В, имеются две линии питания, для внешнего источника (линия Vcc), а также для батареи (Vbat). Точность хода часов поддерживается за счет отслеживания температуры окружающей среды – в микросхеме запускается внутренняя процедура корректировки частоты тактового генератора, величина корректировки определяется по специальному графику зависимости частоты от температуры. Процедура запускается после подачи питания, а затем выполняется каждые 64 секунды, что обеспечивает достаточную точность измерений в рамках решаемой задачи. [3]

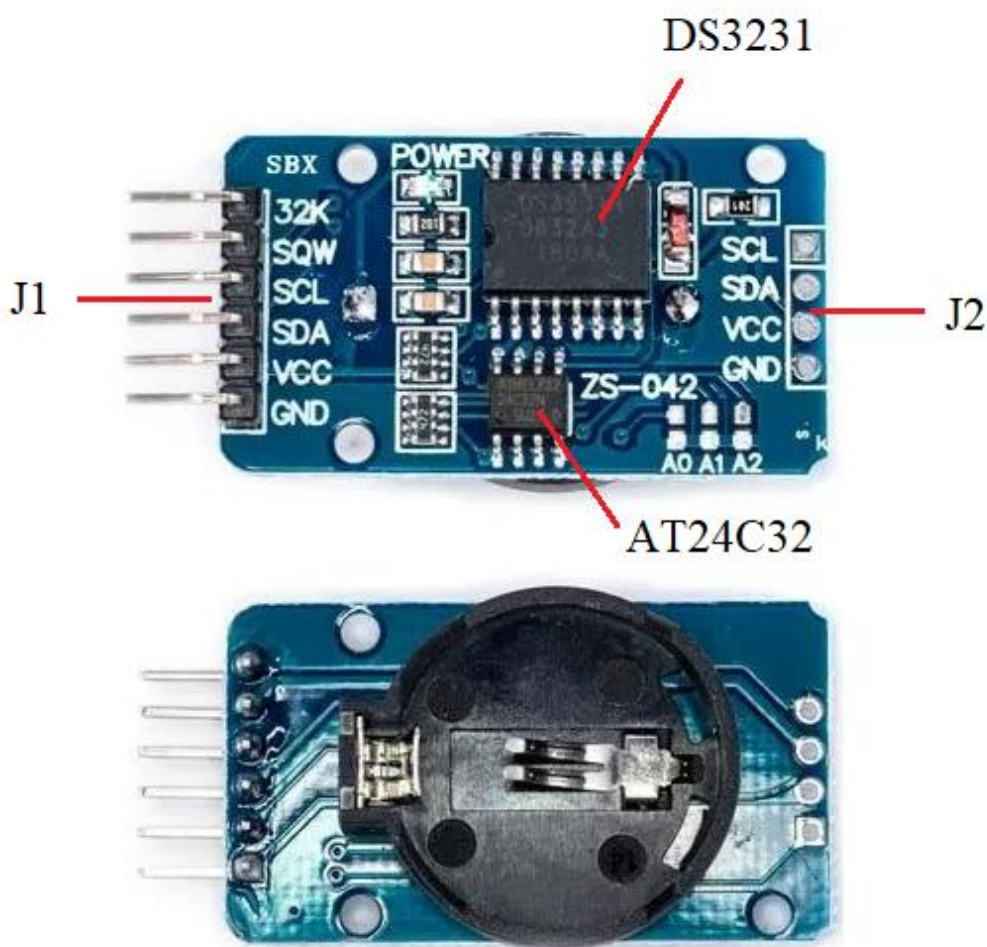


Рисунок 6. Модуль реального времени DS3231

Результаты

В ходе исследования были получены в реальном времени мгновенные значения температуры, давления и влажности воздуха, при этом имеется точное время производимых измерений, что дает актуальную информацию о состоянии погоды в данный момент удалённо через канал связи. Полученные результаты показаны на рисунках 7, 8, 9, 10.

COM3

```

20:46:01.495 -> Temperature:24.40
20:46:01.495 -> Pressure:720.24
20:46:01.541 -> humidity=19
20:46:03.483 -> Temperature:24.41
20:46:03.529 -> Pressure:720.28
20:46:03.529 -> humidity=19
20:46:05.510 -> Temperature:24.41
20:46:05.510 -> Pressure:720.26
20:46:05.556 -> humidity=19

```

Рисунок 7. Данные температуры, давления и влажности в мониторе порта Arduino IDE

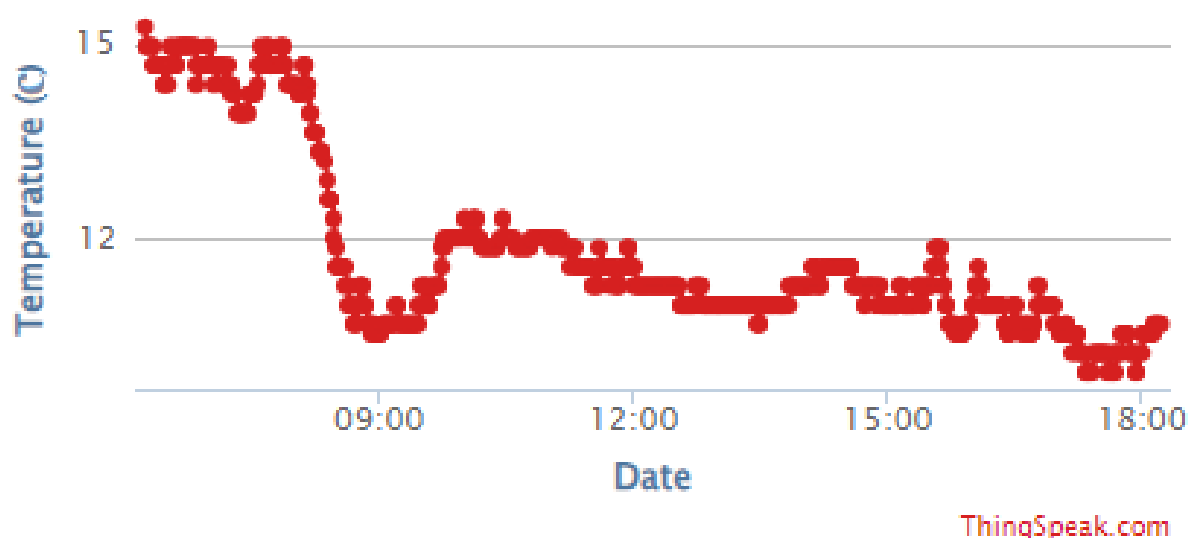


Рисунок 8. График изменения температуры на web-хостинге ThingSpeak

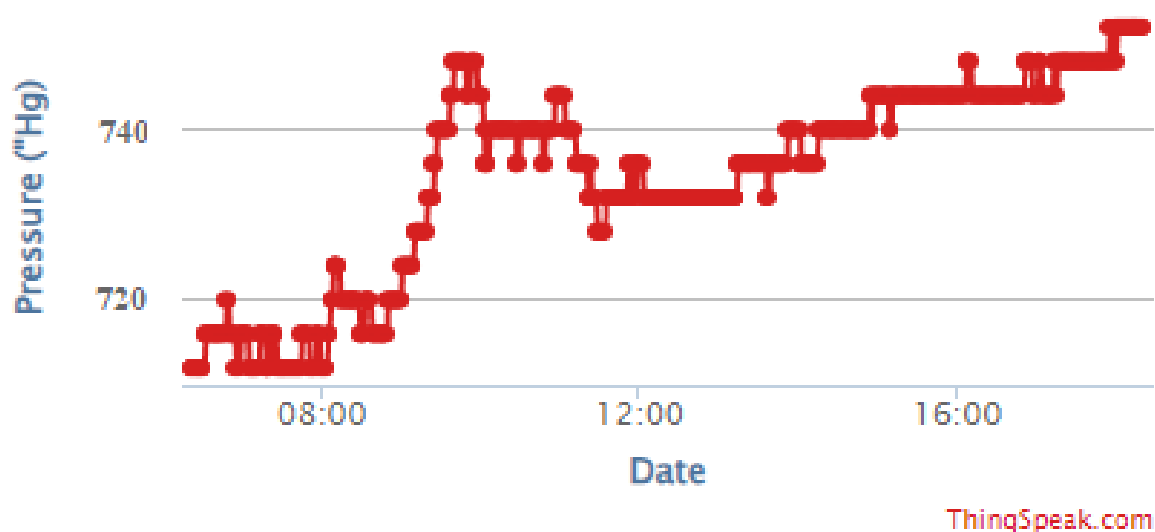


Рисунок 9. График изменения давления на web-хостинге ThingSpeak

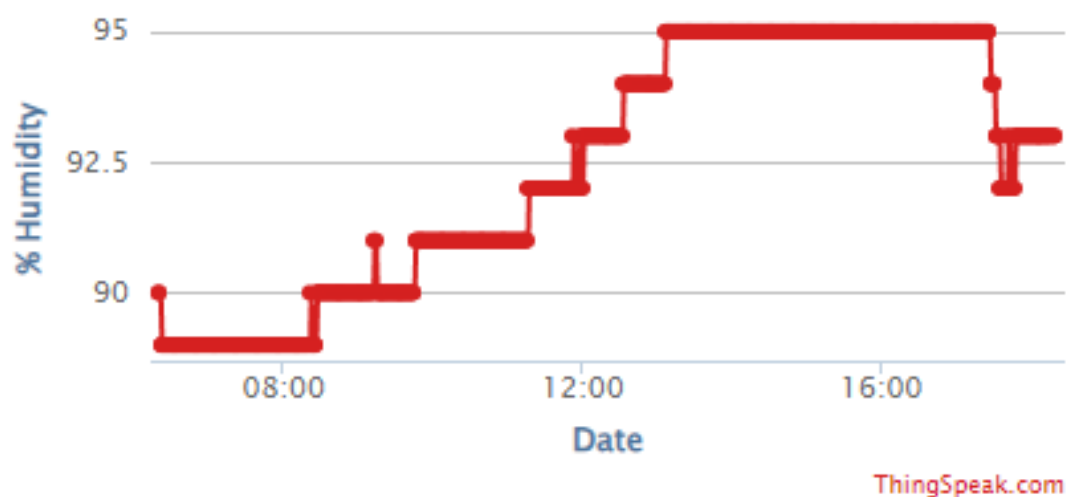


Рисунок 10. График изменения влажности на web-хостинге ThingSpeak

Заключение

В ходе выполнения данного проекта был произведен выбор оборудования для решения поставленной задачи. Опираясь на выбранное оборудование была написана программа для мониторинга погодных условий, которая была реализована на собранном макете при помощи интернета вещей. В ходе теста были получены положительные результаты, что говорит о функциональной работоспособности разрабатываемой системы.

Список литературы

1. Действующие метеорологические станции Иркутской области [Электронный ресурс]. URL: http://esimo.ru/dataview/viewresource?resourceId=RU_RIHMI-WDC_2667 (дата обращения: 02.04.2024). – Текст : электронный.
2. ESP32 Series Datasheet [Электронный ресурс]. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата обращения: 02.04.2024). – Текст : электронный.
3. DS3231 Datasheet [Электронный ресурс]. URL: <https://www.micro-semiconductor.com/datasheet/04-DS3231SN-T-R.pdf> (дата обращения: 02.10.2021). – Текст : электронный.
4. BMP280 Digital Pressure Sensor [Электронный ресурс]. URL: <https://amperkot.ru/static/3236/uploads/datasheets/BST-BMP280.pdf> (дата обращения: 02.04.2024). – Текст : электронный.
5. DHT11 - Humidity and Temperature Sensor [Электронный ресурс]. URL: <https://robocraft.ru/files/datasheet/DHT11.pdf> (дата обращения: 02.04.2024). – Текст : электронный.
6. МПВ 602.12100.1 [Электронный ресурс]. URL: <https://mera.nt-rt.ru/images/manuals/мпв602-12100-1.pdf> (дата обращения: 02.04.2024). – Текст : электронный.

Разработка устройства для мониторинга скважинного помещения на базе ESP32 с использованием мессенджера Telegram

Колегов П.А., Ченский А.Г.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

palsanych2000@mail.ru, zavmts@ex.istu.edu

Из-за особенности климата Иркутской области, в зимний период времени при понижении температуры происходит промерзание скважин по добычи питьевой воды, в следствии чего вода замерзает и ее добыча невозможна. Так же из-за перепадов температуры или по иным причинам герметичность кессона нарушается и во время паводков скважину топит, тем самым нарушая качество воды. В статье произведен подбор оборудования для мониторинга состояния скважинного помещения на основе которого написана программа, а также произведен обзор написанной программы со стороны пользователя.

Введение

Интернет вещей (Internet of Things, IoT) – это концепция, которая описывает сеть взаимосвязанных устройств, способных обмениваться данными и выполнять определенные функции без участия человека. Эти устройства могут быть различными: от бытовых приборов типа умного холодильника или умного термостата до промышленного оборудования, медицинских приборов, автомобилей и т.д.

Основная идея интернета вещей заключается в том, что устройства снабжаются датчиками, микроконтроллерами и возможностью подключения к интернету, что позволяет им собирать и обмениваться данными, а также дистанционно управляться. Благодаря этому, устройства могут обеспечивать более эффективное управление ресурсами, повышать безопасность, улучшать качество жизни людей и т.д. Как говорится в одной из книг Перри Ли: Интернет вещей захватит практически каждый сегмент в сфере промышленности, бизнеса, здравоохранения и потребительских товаров [6].

Что касается самого проекта?

Самым холодным месяцем считается январь. В географической энциклопедии Иркутской области сказано следующее: Средняя температура воздуха в январе приближается к -25°C в пониженных местах и к $-17 \div -20^{\circ}\text{C}$ в горных районах. В отдельные годы температура воздуха может понижаться от -40°C на прибрежных станциях и в горных районах, -50°C в южных районах области до -60°C на севере [1]. Поэтому не зависимо от того на сколько утеплена скважина, без дополнительного источника тепла не обойтись. Поддержание тепла воды производят путем погружения в скважину греющего кабеля, который приходится в холодный период включать в сеть. Что касается затопления скважины, то контроль осуществляется непосредственно наблюдением человека уровня жидкости и не редко вода достигает критического значения что приводит к нарушению качества воды

и распространению грибка. Поэтому для мониторинга скважинного помещения предложено сделать следующее – установить датчик уровня жидкости и датчик температуры, на основании показаний с датчиков осуществлять контроль за состоянием скважины путем управления блоком реле (управление насосом и греющим кабелем).

Реализация проекта и подбор оборудования

На рисунке 1 изображена схема установки необходимого оборудования для выполнения мониторинга/контроля.

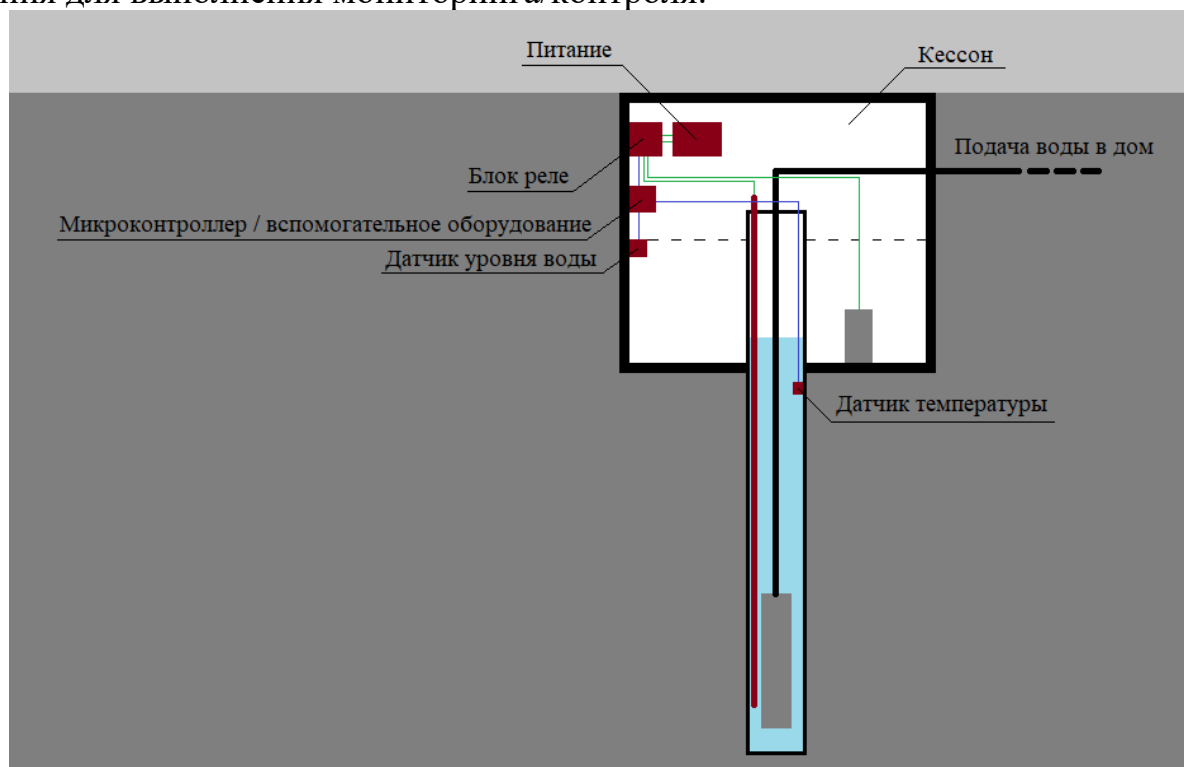


Рисунок 1. Место установки оборудования в скважинном помещении

Основное управление скважиной производится через telegram_bot, который написан непосредственно на микроконтроллере. В telegram группу, к которой подключен БОТ поступают оповещения о критическом значении параметров с датчика уровня воды и датчика температуры (уровень воды достиг датчика; низкая температура воды в скважине). В микроконтроллер загружено два режима работы это автоматический – при активации которого включение реле происходит независимо от человека и ручной режим, то есть в telegram будут поступать оповещения, но решение по включению или выключению реле будет принимать человек.

Главным мозгом всего проекта является микроконтроллер, который изображен на рисунке 2, выбор пал на микроконтроллер ESP32, так как он покрывает все требования, предъявленные проектом за небольшую стоимость. Если сравнить ESP32 с аналогичными микроконтроллерами по типу Arduino, raspberry Pi или STM32 можно сделать вывод, что он является

золотой серединой между ценой и производительностью. Сравнивая ESP32 с его братом ESP8266 можно отметить следующие преимущества: ESP32 имеет двухъядерный процессор, в то время как ESP8266 имеет одноядерный процессор. Это делает ESP32 более мощным и производительным по сравнению с ESP8266. ESP8266 обычно имеет 32-битный микроконтроллер и по умолчанию поставляется с 512 кб (или 1 Мб) Flash-памяти и 80 кб оперативной памяти (RAM). В то время как ESP32, более продвинутая платформа, поставляется с 32-битным двухъядерным процессором и предлагает больше вариантов: от 4 Мб до 16 Мб Flash-памяти и 520 кб оперативной памяти [2][3]. На данный момент готовый код занимает 3520000 байт, что во много раз выше чем максимально доступная память на ESP8266.



Рисунок 2. Микроконтроллер ESP32

Для измерения температуры и уровня воды выбраны следующие датчики: Датчик температуры – выбор обусловлен условием эксплуатации, так как датчик будет измерять непосредственно температуру воды в скважине, он должен быть герметичным.

Для этого подходит датчик DS18B20 он из себя представляет, герметичный датчик зондового типа с питанием от линии 3 – 5,5 В и пределами измерения от -55°C до 125°C , что покрывает наши потребности. Датчик DS18B20 использует интерфейс 1-Wire, поэтому для связи требуется только один контакт [4]. Датчик уровня жидкости – для контроля уровня жидкости будет достаточно самого простого датчика Water Sensor он состоит из металлических электродов, которые реагируют на наличие воды, и микроконтроллера, который анализирует сигналы от электродов, оба эти датчика изображены на рисунке 3. Когда вода попадает на электроды датчика, происходит замыкание цепи, что приводит к изменению сопротивления, отправляемого на микроконтроллер.



Рисунок 3. Датчик температуры DS18B20 (А) и датчик уровня воды Water Sensor (Б)

Для управления нагрузкой выбрано реле KY-019 изображенное на рисунке 4, обладающее 5 В логикой с управляемым напряжением переменного тока до 250 В и максимальным током 10 А, которое будет поддерживать управляемое оборудование до 2 кВт, что покрывает большую часть погружных насосов, не говоря уже о греющем кабеле [5].

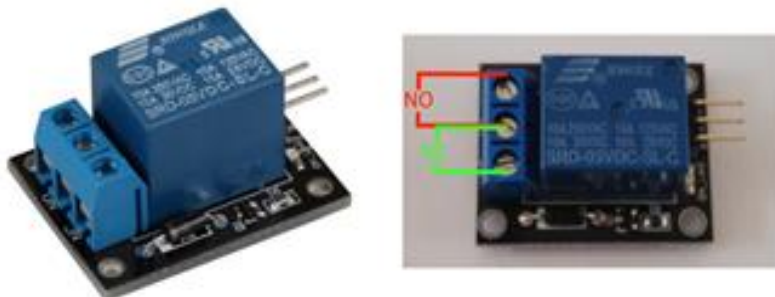


Рисунок 4. Реле для управления нагрузкой KY-019

Связь между telegram и микроконтроллером будет осуществиться при помощи сети Wi-Fi которая встроена в микроконтроллер ESP32. Так же принято решение использовать Bluetooth (встроен в esp32) как резервный способ связи с микроконтроллером, он необходим, в случае если возникли проблемы с интернетом и связь с микроконтроллером потеряна. Связь через Bluetooth будет полностью дублировать управление микроконтроллером через telegram. Изучив проекты на просторах интернета по применению Wi-Fi и Bluetooth в одном проекте, авторы таких работ говорят, что совместное использование Wi-Fi и Bluetooth приводит к сбоям, так как антенна одна. Поэтому для связи по Bluetooth принято решение использовать отдельный модуль HC-05, рисунок 5.



Рисунок 5. Bluetooth модуль HC-05

Так же для визуального представления изменения температуры в проект принято добавить веб-хостинг ThingSpeak, который будет аккумулировать в себе данные температуры с метками времени в виде графика.

Далее представлена структурная схема проекта, рисунок 6.

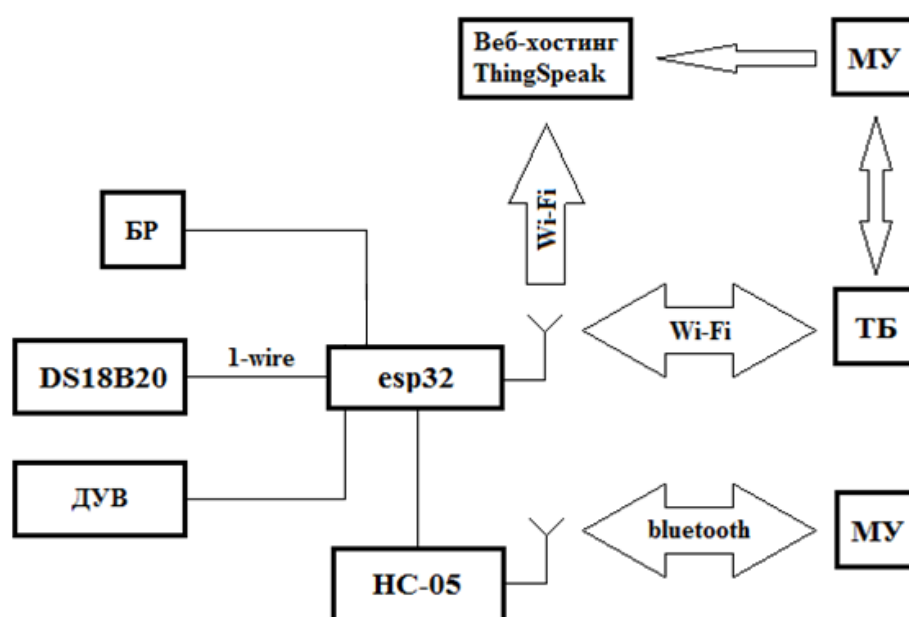


Рисунок 6. Структурная схема проекта (БР – блок реле; ДУВ – датчик уровня воды; ТБ – telegram bot; МУ – мобильное устройство)

На основании выше сказанного, собран макет всей системы, представленный на рисунке 7 в который был загружен код. Реле были заменены светодиодами для демонстрации работоспособности проекта (активация реле идентична включению светодиода).

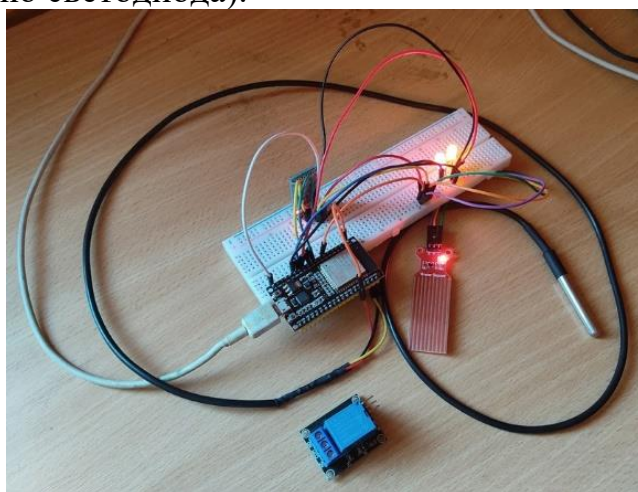


Рисунок 7. Макет проекта для контроля состояния скважины

При подаче питания на микроконтроллер, ESP32 делает попытку подключения к сети Wi-Fi. Если микроконтроллер нашел нужную сеть и подключился к ней, то в telegram канал, куда подключён микроконтроллер, приходит следующее сообщение, рисунок 8 (А). При включении сразу запускается автоматический режим работы, данный режим отслеживает показания с датчика температуры и на основании показаний включает или выключает реле к которой должен быть подключен греющий кабель.

Воспользовавшись командой “/СК” можно ознакомиться со всеми доступными командами в данном режиме, рисунок 8 (Б).

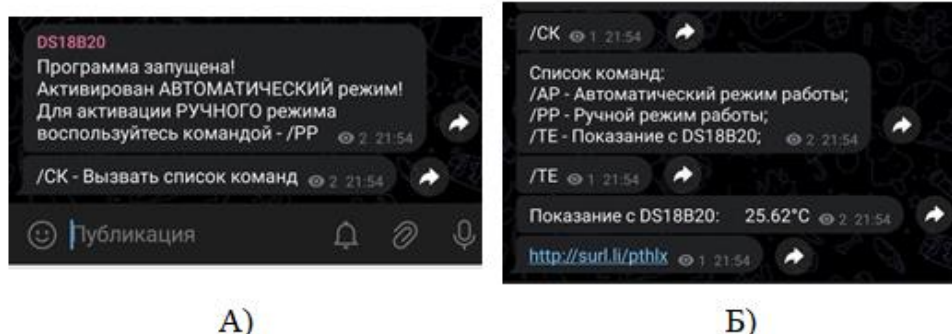


Рисунок 8. Отчет о запуске (А); доступный список команд (Б)

На рисунке 9 отображен искусственный перепад температуры, который будет отражен в telegram, рисунок 11 (А). Интервал измерения взят 20 секунд для демонстрации, на практики измерения будут производиться раз в час, так как динамика будет небольшой.

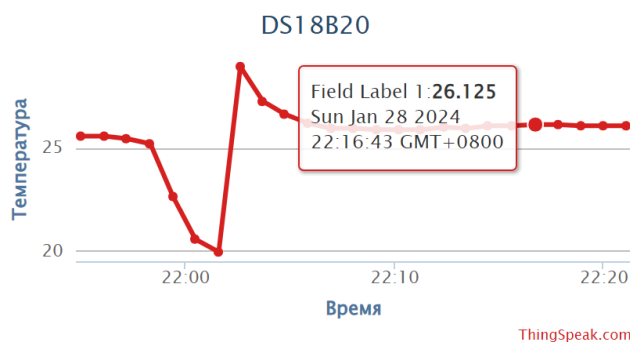


Рисунок 9. График изменения температуры

Теперь перейдем к ручному режиму, его можно активировать командой “/PP”, рисунок 10. он нужен для принудительного управления реле.

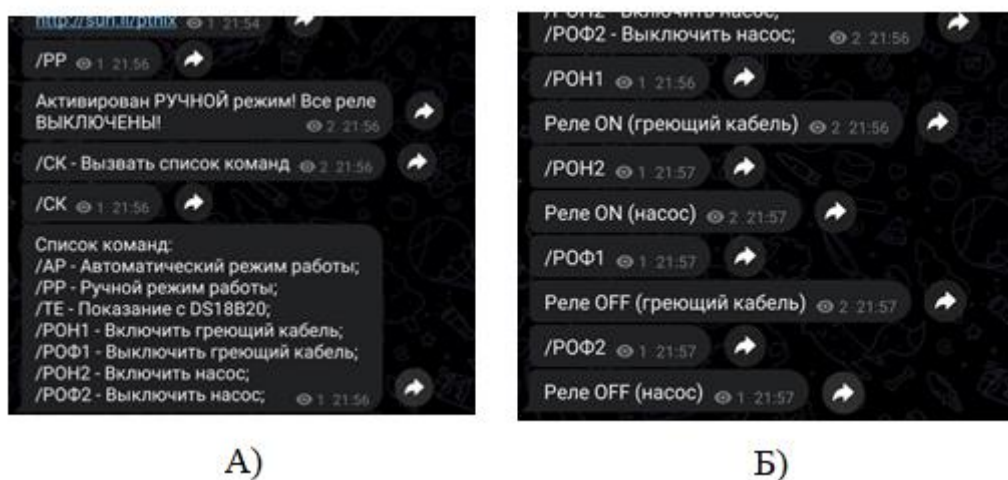


Рисунок 10. Активация ручного режима (А); отчет о состоянии реле (Б)

Как видно из рисунка 10 (А), в ручном режиме стали доступны команды: включение и выключение имеющихся реле. Введя одну из команд

(/РОН1, /РОН2, /РОФ1, /РОФ2,), микроконтроллер отдаст отчет о состоянии реле, рисунок 10 (Б).

Далее активируем автоматический режим и поместим датчик температуры в холодное место, затем нагреем его, при понижении температуры будет приходить оповещение в telegram рис. 11 (А) и будет активировано или деактивировано реле греющего кабеля. Для демонстрации температура включения задана 20°C и ниже, выключение 23°C и выше.

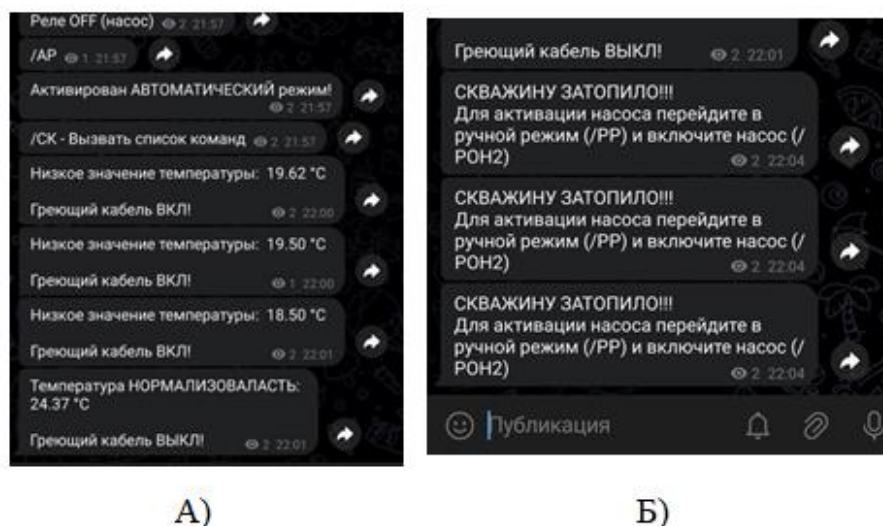


Рисунок 11. Автозапуск реле (А); уведомления о подтоплении (Б)

В случае неисправности сети Wi-Fi или telegram, в данном проекте предусмотрен резервный способ управления всей системой (о которой говорилось выше), рисунок 12. Взаимодействие происходит при помощи приложения Arduino Bluetooth controller.



Рисунок 12. Подключение через Bluetooth

Параллельно с температурой микроконтроллер не зависимо от режима работы отслеживает уровень воды в кессоне. Если уровень достиг датчика, установленного в скважине, то в telegram так же поступит оповещение о подтоплении скважины, для наглядности датчик был помещен в кружку с водой, что отражено на рисунке 11 (Б).

Заключение

Благодаря гибкости микроконтроллеров каждый желающий в наше время может собрать недорогую и относительно простую в реализации IoT-систему для мониторинга, которая способна улучшить жизнедеятельность человека, что и было реализовано в данной работе.

В ходе работы было разработано устройство для мониторинга скважинного помещения на базе микроконтроллера ESP32. В процессе разработки был произведен подбор комплектующих в соответствии с условием и способом эксплуатации. Также были выбраны и настроены платформы для управления и визуализации собранных данных с датчиков. На основе комплектующих было собрано устройство и написана программа, по алгоритму которой работает весь проект. После реализации устройства были проведены его испытания в ходе которых были получены положительные результаты, отраженные в данной статье.

Список литературы

1. Географическая энциклопедия Иркутской области. А.Д. Абалаков, Н.Г. Абаринова, Н.Б. Базарова ; ред. коллегия: Л.М. Корытный [и др.]. – 2017. – URL: <https://volkov.irkutsk.ru/assets/books/%D0%93%D0%AD%D0%98%D0%9E%D1%821.pdf> (дата обращения: 02.02.2024). – Текст : электронный.
2. ESP32 Series Datasheet – URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата обращения: 05.02.2024). – Режим доступа: общий. – Текст : электронный.
3. ESP8266 Техническая документация – URL: <https://www.euromobile.ru/upload/iblock/38e/38edea9ed541014c941ac8a47619db65.pdf> (дата обращения: 05.02.2024). – Режим доступа: общий. – Текст : электронный.
4. Programmable Resolution 1-Wire Digital Thermometer – URL: <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf> (дата обращения: 08.02.2024). – Режим доступа: общий. – Текст : электронный.
5. Datasheet KY-019 – URL: <https://datasheetpdf.com/pdf-file/1402030/Joy-IT/KY-019/1> (дата обращения: 09.02.2024). – Режим доступа: общий. – Текст : электронный.
6. Перри Ли. Архитектура интернета вещей / Перри Ли – пер. с англ. М. А. Райтмана. – М.: ДМК Пресс, 2019. – 454 с.

Программная реализация манипуляционного кодера Баркера для программируемой логической интегральной схемы

Просвирякова Л.В., Осипов К.А., Сапажкова В.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

lar_prosv@mail.ru, osipov_k_a@outlook.com, vladasva2002@gmail.com

Статья посвящена разработке программы манипуляционного кодера Баркера. В статье представлена логическая схема формирователя кодов Баркера, описания блоков входящих в состав кодера, листинги программ на Verilog HDL и временные диаграммы работы блоков.

Введение

Целью данной работы является создание программы манипуляционного кодера на ПЛИС.

В основе работы данного кодера лежит формирование модуляционных кодов квадратурной и синфазной составляющих сложного сигнала. При этом в кодовую последовательность синусного и косинусного каналов включается модуляционный код сложного сигнала [1]. Модуляционные коды квадратурного и синфазного каналов меняются местами на четных интервалах информационной последовательности. Итогом данной работы будет устройство, формирующее квадратурные каналы для последующей модуляции.

Основная часть

Ниже представлен пример реализации манипуляционного кодера на ПЛИС (рис. 1).

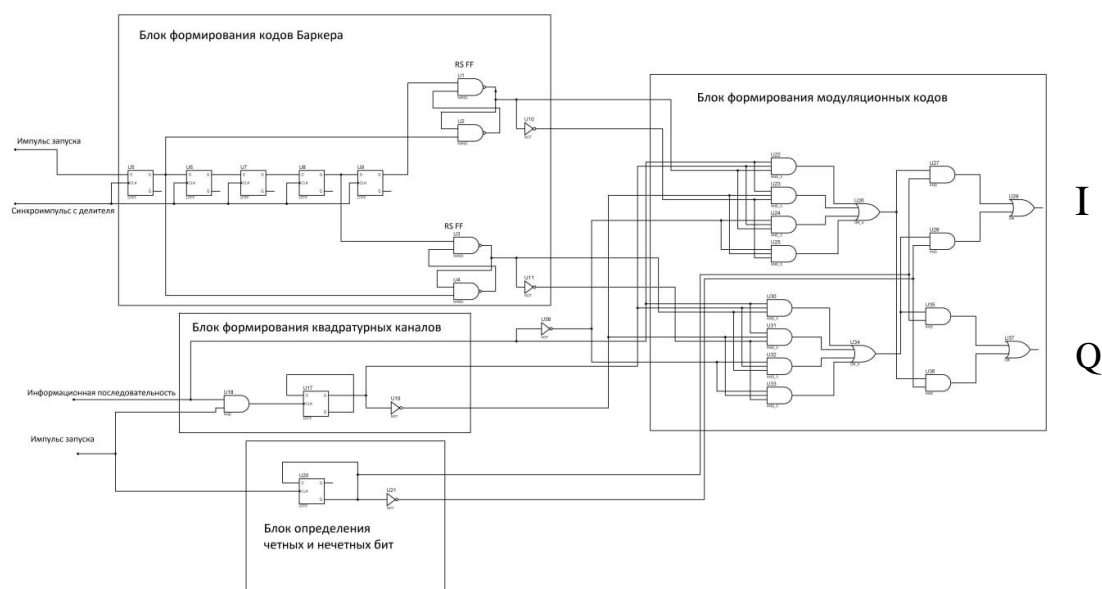


Рисунок 1. Логическая схема кодера

В качестве сложного сигнала для кодирования входной информационной последовательности код Баркера был выбран из-за его корреляционных свойств. Работа устройства заключается в формировании квадратурных каналов для последующей манипуляции в квадратурном модуляторе. Для удобства расчета и написания программы был выбран сигнал Баркера с длительностью $N = 5$. Коды подбираются таким образом, чтобы на выходе квадратурного модулятора получался необходимый сложный сигнал.

Само устройство состоит из четырех функциональных блоков:

- Блок формирования кодов Баркера;
- Блок формирования квадратурных каналов;
- Блок определения четных и нечетных бит;
- Блок формирования модуляционных кодов.

В блоке формирования модуляционной последовательности генерируются коды квадратурного и синфазного каналов кода Баркера. Для квадратурного канала Q последовательность имеет вид $\{11110\}$, для синфазного канала – $\{11100\}$ [2].

Необходимое устройство формирования модуляционной последовательности легко реализуется с помощью последовательного регистра сдвига и двух RS-триггеров. На рисунке 2 представлена программа формирования модуляционных кодов Баркера с длительностью $N = 5$ языке Verilog HDL.

```

1  module barkers_cod(input clk, imp_zap, output Q1, Qbar1, Q2, Qbar2);
2  reg a, b, c, d, e;
3  assign Outa= a;
4  assign Outd= d;
5  assign Oute= e;
6  reg M,N;
7  reg O,P;
8  always @(posedge clk)
9  begin
10     a<=imp_zap; b<=a; c<=b; d<=c; e=d;
11     M <= !(Oute & clk);
12     N <= !(Outa & clk);
13     O <= !(Outd & clk);
14     P <= !(Outa & clk);
15 end
16 assign Q1 = !(M & Qbar1);
17 assign Qbar1 = !(N & Q1);
18 assign Q2 = !(O & Qbar2);
19 assign Qbar2 = !(P & Q2);
20 endmodule

```

Рисунок 2. Листинг блока формирования кодов Баркера

На вход первого D-триггера подается сигнал запуска, следующий с частотой $f_{\text{запуска}} = f_{\text{такт}}/5$ со скважностью 10%, на синхронный вход триггера подается сигнал с тактовой частотой $f_{\text{такт}}$. В результате происходит захват логической единицы импульса запуска первым D-триггером.

На рисунке 3 представлены временные диаграммы работы описанного устройства.

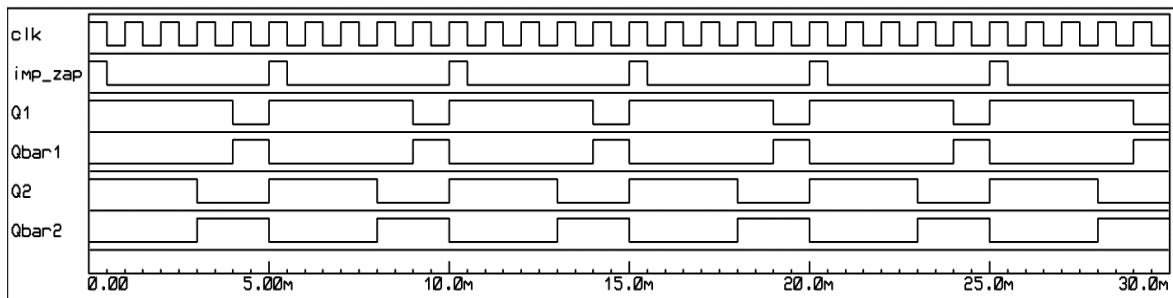


Рисунок 3. Временные диаграммы работы блока формирования кодов Баркера

Для образования квадратурных каналов необходимо, чтобы закодированный сигнал отражал информационную последовательность, и соблюдалось условие четности количества идущих подряд логических нулей или единиц [3].

Кодирование, которое позволяет выполнить все перечисленные условия, описывается следующим образом: в квадратурный канал поступает модуляционная последовательность при нечетных «1» информационной последовательности и «0», следующие за ними, и инверсная последовательность при четных «1» и «0», следующие за ними. В синфазный канал модуляционная последовательность поступает при нечетных «1» информационной последовательности и «0», следующих за четными «1» и инверсная последовательность при четных «1» и «0», следующих за нечетными «1».

Из этого следует, что на блок И (рис. 1) поступает информационный сигнал и сигнал запуска, в результате на выходе элемента появится логическая единица только при «1» в информационной последовательности. Данная логическая «1» переключает D-триггер, включенный в виде счетчика. Следовательно, на выходе блока будет «1» при поступлении нечетных единиц и нулей, следующих за ними. Код модуля представлен на рисунке 4.

```

1  module kv_channel1(input imp_pos1, imp_zap, output reg Q);
2  □ initial begin
3  |   Q=1'b0;
4  |   end
5  |   assign clk=imp_pos1&imp_zap;
6  |   always @(posedge clk)
7  |   □ begin
8  |   |   Q=Q+1;
9  |   |   end
10 |   endmodule

```

Рисунок 4. Листинг блока формирования квадратурных каналов

Данный блок образует необходимую кодовую последовательность квадратурного канала. Временные диаграммы работы устройства представлены на рисунке 5.

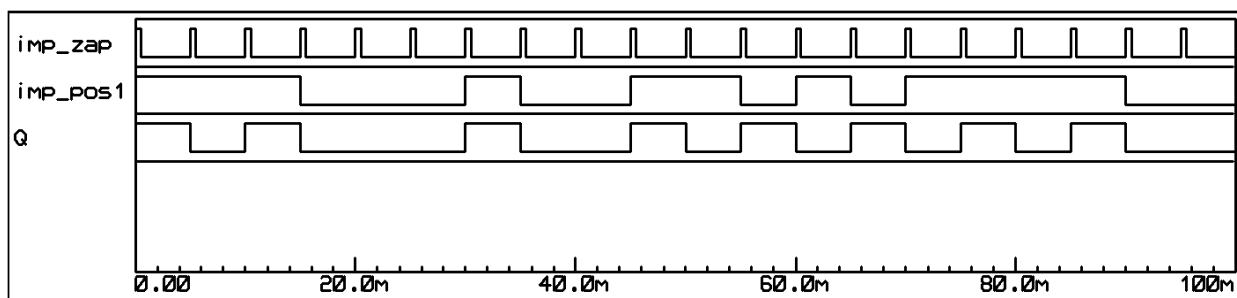


Рисунок 5. Временные диаграммы работы блока образования квадратурных каналов

На базе данной последовательности легко образовать последовательность нечетных единиц и нулей, следующих за четными единицами, необходимую для синфазного канала.

Далее следуют блоки формирования модуляционных кодов квадратурных каналов, в которых происходит замена информационной последовательности сложным сигналом, в соответствии с кодами, поступающими с блока образования квадратурных каналов.

В квадратурном канале замена происходит при поступлении нечетных единиц и нулей, следующих за ними, на неинвертированную модуляционную последовательность {11110} и замена на инвертированную последовательность {00001} при поступлении четных единиц и нулей, следующих за ними. Данные последовательности присутствуют на выходе блока образования квадратурных каналов.

В синфазном канале информационные биты заменяются на неинвертированную последовательность {11100} при поступлении нечетных единичных бит и нулей, следующих за четными единичными битами, и на инвертированную последовательность {00011} при поступлении четных единичных бит и нулей, следующих за нечетными единичными битами.

Схема определения четных и нечетных бит состоит из D-триггера, включенного по схеме счетчика, на синхронизирующий вход которого подаются импульсы запуска. Код модуля представлен на рисунке 6.

```

1  module chet_nechet(input clk, output reg Q, reg nQ);
2  □ initial begin
3  |   Q=1'b0;
4  |   end
5  |   always @(posedge clk)
6  |   □ begin
7  |       Q=Q+1;
8  |       nQ = !Q;
9  |       end
10 |   endmodule

```

Рисунок 6. Листинг блока определения четных и нечетных бит

Временные диаграммы работы устройства представлены на рисунке 7.

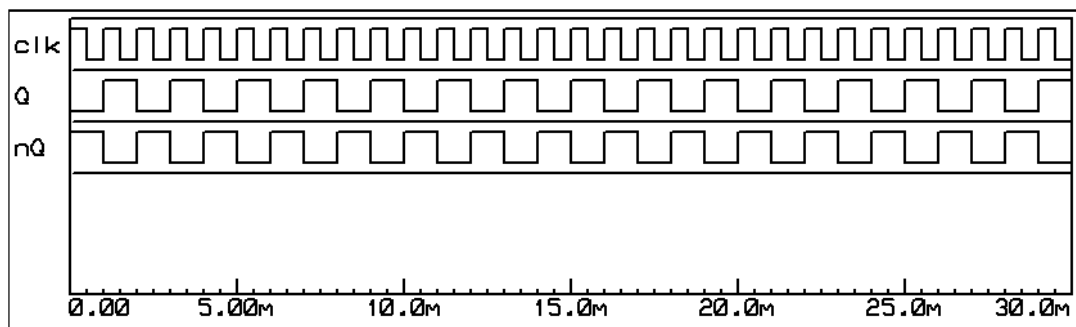


Рисунок 7. Временные диаграммы работы блока определения четных и нечетных бит

Логическая схема блока формирования модуляционных кодов квадратурных каналов строится на элементах И, ИЛИ. Код модуля представлен на рисунке 8.

```

1 module mod_kodKK(input inf_pos1, out_KK, mod_kodQ, invout_KK,
2   invmod_kodQ, invinf_pos1Q, mod_kodI, invmod_kodI, invinf_pos1I,
3   chet_imp, nechet_imp, output Iout, Qout);
4 assign Asin= inf_pos1&out_KK&mod_kodQ;
5 assign Bsin= inf_pos1&invout_KK&invmod_kodQ;
6 assign Csin= invinf_pos1Q&out_KK&mod_kodQ;
7 assign Dsin= invinf_pos1Q&invout_KK&invmod_kodQ;
8 assign Qmod=Asin|Bsin|Csin|Dsin;
9 assign Acos= inf_pos1&out_KK&mod_kodI;
10 assign Bcos= inf_pos1&invout_KK&invmod_kodI;
11 assign Ccos= invinf_pos1I&out_KK&mod_kodI;
12 assign Dcos= invinf_pos1I&invout_KK&invmod_kodI;
13 assign Imod=Acos|Bcos|Ccos|Dcos;
14 assign Qout=(Qmod&nechet_imp)|(Imod&chet_imp);
15 assign Iout=(Imod&nechet_imp)|(Qmod&chet_imp);
16 endmodule

```

Рисунок 8. Временные диаграммы работы блока определения четных и нечетных бит

На рисунке 9 представлены временные диаграммы модуляционных последовательностей квадратурных каналов, информационная последовательность, выходной сигнал из блока образования квадратурных каналов, выходные сигналы блока формирования модуляционных кодов квадратурных каналов.

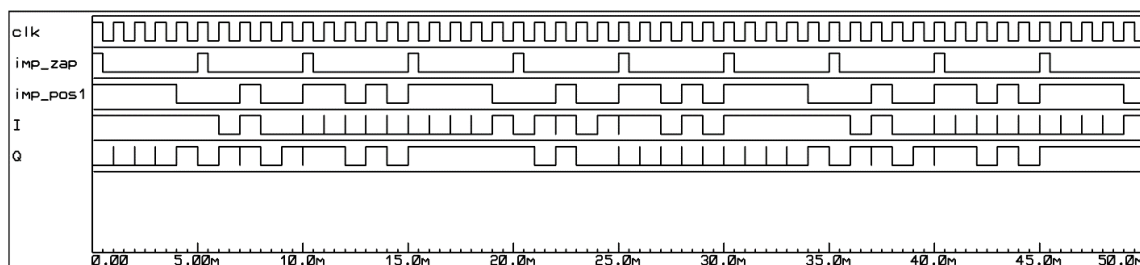


Рисунок 9. Временные диаграммы работы блока генерации модуляционных кодов

После того, как модуляционные коды квадратурных каналов были сформированы необходимо поменять местами последовательности,

стоящие на четных информационных интервалах, обоих каналов между собой. Эта операция проводится для того, чтобы соблюдалось условие неразрывности фазы частотно-манипулированного сигнала.

Условие неразрывности фазы соблюдается, если фаза поднесущей частоты изменяется только во время перехода сигнала через ноль. Для этого поднесущая перемножается с сигналом, в котором длительность следования одинаковых логических уровней подряд кратна двум, в результате чего полупериод поднесущей, равный двукратной длительности элементарного дискрета модуляционного сигнала, укладывается в импульсы четное число раз.

Заключение

Разработанная программа позволяет производить формирование квадратурных каналов для последующей манипуляции в квадратурном модуляторе на основе шумоподобного сигнала. Устройство кодера разработано для микросхемы ПЛИС Cyclone IV EP4CE6E22C8N и написано на языке Verilog HDL. Основой метода является способ формирования модуляционных кодов квадратурной и синфазной составляющих сложного сигнала. Данный программный продукт является одним из элементов устройства для кодирования и передачи информации шумоподобными сигналами.

Список литературы

1. Засенко В. Е., Просвирякова Л. В. Способ передачи двоичной информации сложными сигналами с внутриимпульсной минимальной частотной манипуляцией. – 2009.
2. Сетов А. Г., Просвирякова Л. В., Засенко В. Е. ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СЛОЖНЫХ СИГНАЛОВ С ВНУТРИИМПУЛЬСНОЙ ЧАСТОТНОЙ МАНИПУЛЯЦИЕЙ //Труды Международной Байкальской молодежной научной школы по фундаментальной физике и Конференции молодых ученых" Взаимодействие полей и излучения с веществом". – 2013. – С. 250-252.
3. Использование ПЛИС в устройствах обработки информационных последовательностей в цифровых системах связи. Засенко В.Е., Петров И.С., Просвирякова Л.В. Современные проблемы радиоэлектроники и связи. материалы XIV Всероссийской научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Иркутский национальный исследовательский технический университет; Под редакцией А.И. Агарышева, Е.М. Фискина. 2016. С. 81-85.
4. Программа по формированию квадратурных составляющих модуляционного кода сложными сигналами на ПЛИС Осипов К.А., Просвирякова Л.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2019662442, 25.09.2019. Заявка № 2019619144 от 29.07.2019.
5. Программа цифрового модулирования методом квадратичных амплитуд на Verilog HDL Радомский И.В., Просвирякова Л.В. Свидетельство о регистрации программы для ЭВМ RU 2020665283, 26.11.2020. Заявка № 2020662819 от 26.10.2020.

Система дистанционного контроля и управления радиоизмерительного СДВ-ДВ приемника

Белянинов М.О., Полетаев А.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
maks.belyaninov2002@mail.ru, sardaukar9@yandex.ru

В ИРНИТУ разработан СДВ приемник для долговременных измерений амплитуды и фазы радиосигналов. В связи с тем, что приемная станция расположена достаточно далеко, возникает необходимость создания системы для дистанционного контроля и управления данным СДВ приемником. В статье приводятся обзор технологий для удаленного управления, структурная схема системы, описание используемых для изготовления устройства компонентов, выбор способа управления устройством и среды удаленного доступа. В результатах показано, что система выполняет поставленные задачи.

Введение

Одним из методов, который позволяет эффективно отслеживать состояние ионосферы, является наблюдение за СДВ-ДВ сигналами. Для данных целей в ИРНИТУ создан радиоприемный комплекс, состоящий из трех приемных станций [1]. В связи с тем, что они расположены достаточно далеко, необходимо обеспечить удаленный контроль и доступ. Бывает, что работая автономно, приемник не может запуститься и ему требуется принудительная перезагрузка, и, чтобы это организовать, необходима такая система.

Обзор технологий

Существуют несколько подходов для удаленного управления, такие как:

- GSM ключ;

GSM ключ – это система контроля доступа, основанная на работе сотовой сети GSM, обеспечивающая доступ всем абонентам согласно утверждённому списку.

Принцип работы:

Вы звоните со своего мобильного телефона на номер GSM ключа (звонок бесплатный). Устройство узнаёт ваш номер и немедленно даёт команду на открытие встроенного реле.

- Wi-Fi реле;

Sonoff – яркий представитель такого типа устройств [2].

Wi-fi реле Sonoff – это реле с дистанционным управлением от компании ITEAD с интеграцией в разные экосистемы умного дома.

Реле Sonoff могут управляться как со смартфона в ручном режиме, так и автоматически – по расписанию (поддерживает до 8 таймеров) или сигналу с датчиков.

- Микроконтроллер ESP8266.

ESP8266 создан для интеграции в различные решения интернета вещей, он представляет собой недорогую и функциональную микросхему, от производителя Espressif, с поддержкой WiFi-интерфейса [3].

Наиболее предпочтительным в нашем случае будет использование микроконтроллера, так как данный вариант позволяет произвести более гибкую настройку, а также, при необходимости, дополнить систему датчиком температуры. Удаленный доступ будет осуществляться через сети сотовой связи. Зона покрытия сотовых сетей сейчас очень развита и позволяет организовать недорогую систему.

Контроль температуры

Для контроля за состоянием одноплатного компьютера также добавлен датчик температуры. Это необходимо по причине того, что измерительный комплекс располагается в неотапливаемом помещении, где температура может опускаться до -20°C или ниже. Кроме того, это позволяет контролировать перегрев центрального процессора и помогает своевременно заменить термопрокладку.

Управление микроконтроллером

Есть множество способов удаленного управления микроконтроллером, одними из них являются управление через telegram, MQTT сервер, web-сервер или платформу Blynk IoT.

В нашем случае была выбрана платформа Blynk, которая представляет собой комплексный пакет программного обеспечения. Она дает пользователям возможность подключать свое оборудование к облаку и анализировать данные или удаленно управлять им из любого места с помощью iOS, Android или web-приложения. Данный вариант управления микроконтроллером был выбран, исходя из того, что платформа Blynk является достаточно удобной и простой в пользовании, имеет богатый функционал, а также имеет высокую скорость и стабильность работы.

Структурная схема

Структурная схема системы представлена на рисунке 1.

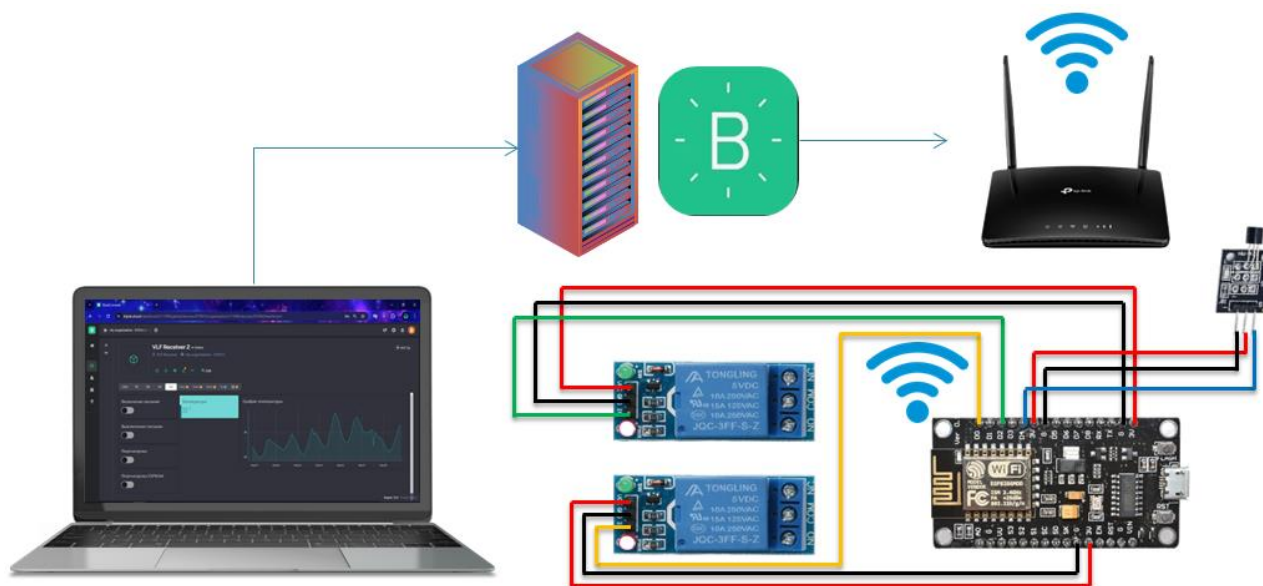


Рисунок 1 – Структурная схема системы

При нажатии на виртуальную кнопку, команда передается на сервер Blynk, затем на роутер, а с роутера, по Wi-Fi, на микроконтроллер, микроконтроллер воспринимает команду и устанавливает на контакте низкий уровень напряжения для включения реле, затем, после определенной задержки, уровень на данном контакте становится прежним и реле выключается, имитируя нажатие физической кнопки. Данные с датчика температуры передаются по тому же принципу, только в обратную сторону. Время удержания реле для включения приемника составляет 1 секунду, для перезагрузки – 1 секунду, а для выключения – 5 секунд.

Описание используемых компонентов

Для изготовления устройства потребовался следующий набор компонентов:

- Модуль ESP8266 NodeMcu v3 Lua с Wi-Fi, 1 шт.;

Данный микроконтроллер имеет ток потребления до 215 мА в режиме передачи, 100 мА в режиме приема, 70 мА в режиме ожидания, максимальный ток пина – 12 мА, Wi-Fi 2,4 ГГц (802.11 b/g/n), диапазон рабочих температур от -40 °С до 125 °С.

- Коробка распределительная, 70x70x40 мм, 1 шт.;
- Модуль датчика температуры KY-001, 1шт.;

Данный модуль состоит из цифрового датчика температуры DS18B20, светодиода и резистора. Датчик DS18B20 имеет диапазон измерений от -55 °С до +125 °С, погрешность измерения не больше 0,5 °С (для температуры от -10 °С до +85 °С) и потребляемый ток – 1 мА.

- Модуль на основе электромеханического реле JQC-3FF-S-Z, 5В, одноканальное, 2 шт.;

Данное реле управляется по низкому уровню, потребление тока до 75 мА, имеет номинальный ток нагрузки 10А и напряжение коммутации до 250В (переменное) и 30В (постоянное), может работать в диапазоне температур от -40 °С до 85 °С. Так же его важной особенностью является то, что оно может управляться и от 3.3В, что в нашем случае имеет решающее значение.

- Перемычка (провод) для макетных плат Arduino 20см гнездо-гнездо, 9 шт.;
- Разъем JST SM 2P, 2 шт.

Выбор среды удаленного доступа

В качестве программы для удаленного доступа была выбрана программа AnyDesk.

AnyDesk имеет следующие преимущества:

- AnyDesk способен нормально работать даже в зонах с низким качеством связи (достаточно скорости соединения в 100 Кбит/сек). Это реализуется за счет того, что он имеет кодек, сжимающий файлы при передаче.
- Высокая безопасность. AnyDesk использует надежную технологию TLS, которая используется для защиты от несанкционированного доступа. Кроме того, AnyDesk включает в себя шифрование с ключом RSA 2048, которое позволяет пользователю проверять и шифровать все сеансы.
- Мобильность. Существует приложение AnyDesk для Android устройств, что позволяет пользователю в любое время оставаться на связи с удаленной системой и, при необходимости, получать доступ к важным данным.
- Множество пользователей по одной лицензии. AnyDesk предоставляет пожизненную бесплатную лицензию для всех своих версий. Кроме того, AnyDesk позволяет нескольким пользователям получить к нему доступ по одной лицензии.

Еще одной немалоизвестной средой для удаленного доступа является TeamViewer.

В сравнении с TeamViewer, AnyDesk предлагает меньшую задержку: 60fps и отклик в 16 мс, также AnyDesk подключается быстрее, он стабильнее и в целом имеет лучшую производительность, чем TeamViewer, даже при низкой пропускной способности.

Результат

Система была изготовлена и протестирована. На рисунке 2 представлена установленная система. Удаленный доступ к рабочему столу приемника и интерфейс Blynk показаны на рисунке 3 и рисунке 4 соответственно.

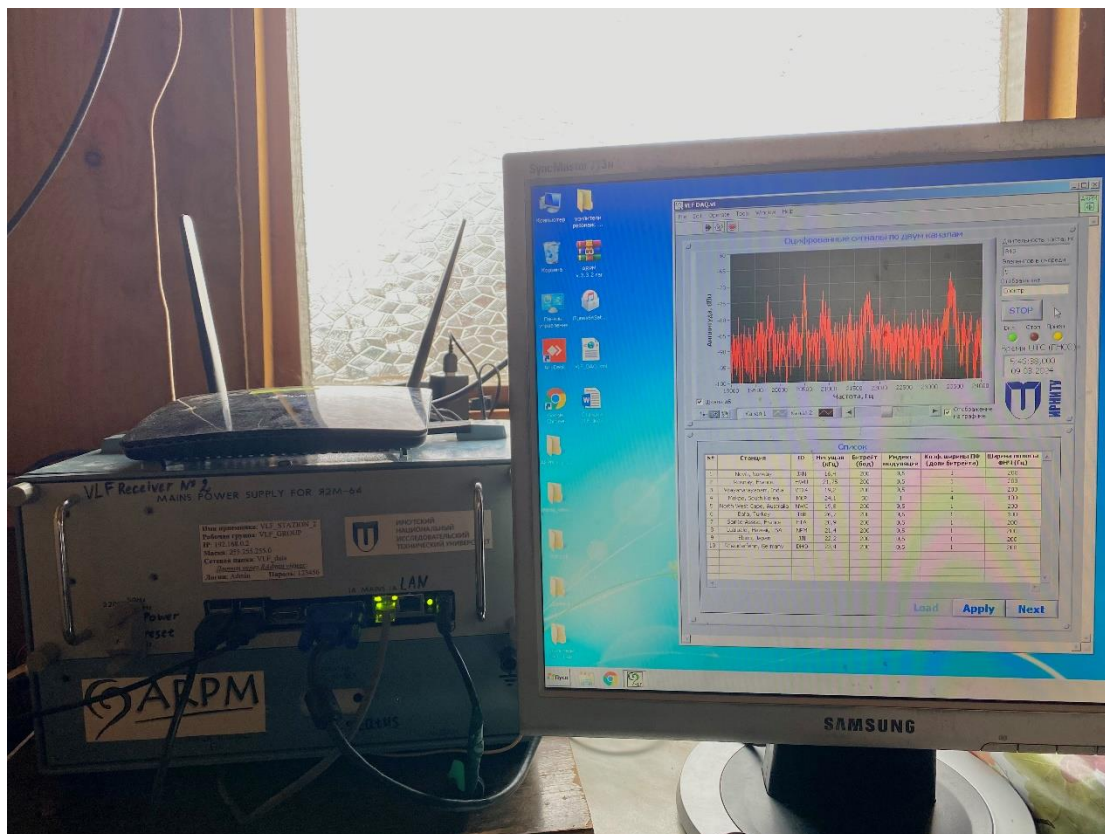


Рисунок 2 – Установленная система

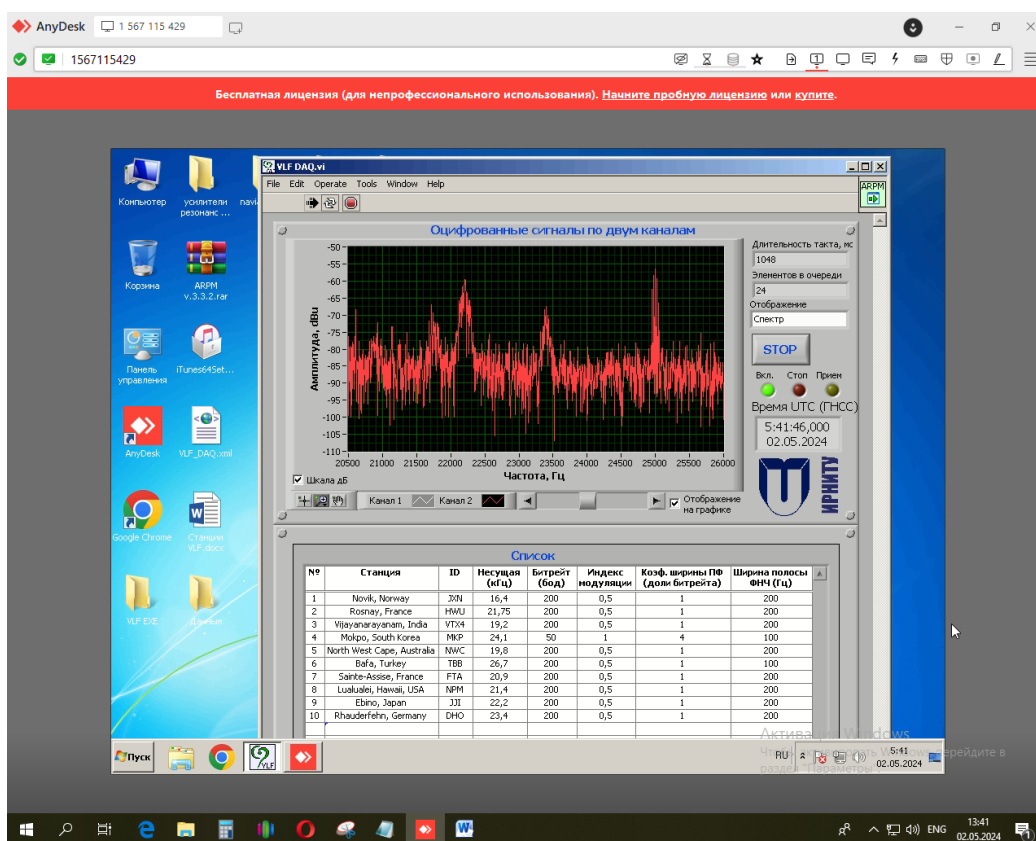


Рисунок 3 – Удаленный доступ через AnyDesk

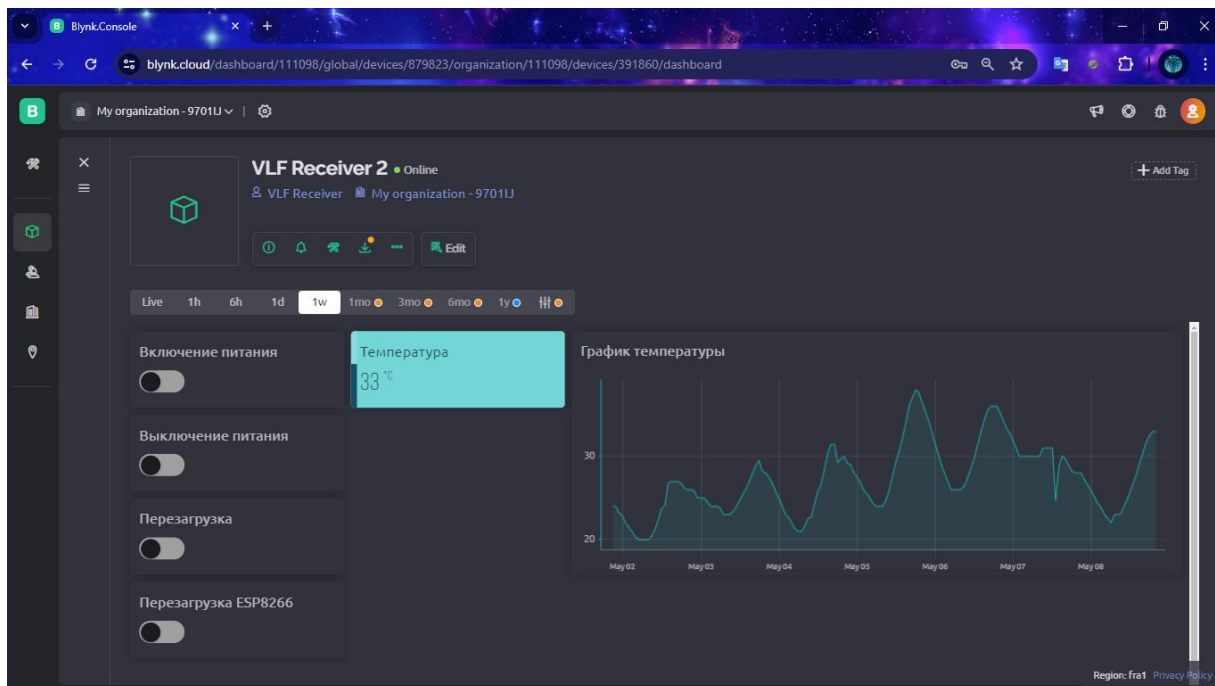


Рисунок 4 – Интерфейс Blynk

Установленный радиоизмерительный приемник в совокупности с изготовленной системой (рис. 2) позволяет собирать информацию о СДВ-ДВ сигналах и удаленно наблюдать спектрограмму (рис. 3), пики на графике соответствуют радиостанциям, работающим на определенной частоте. Также, при необходимости, можно включить, выключить питание или перезагрузить приемник, перезагрузить микроконтроллер, а также наблюдать за состоянием температуры (рис. 4).

Заключение

Разработанная система соответствует поставленным требованиям и выполняет свою задачу. В дальнейшем планируется создать сервис для централизованного сбора и обработки данных, например, необходимых для решения задач грозопеленгации.

Список литературы

1. Полетаев А.С. Когерентное детектирование СДВ радиосигналов, распространяющихся в волноводе земля-ионосфера : автореферат дис. ... кандидата физико-математических наук : 01.04.03 / Полетаев Александр Сергеевич ; ИРНИТУ. – Иркутск, 2019. – 217 с.
2. Дзен : сайт : интернет-версия. – URL: <https://dzen.ru/a/XUfCF5WqnrwCttZ-5> (дата обращения: 02.05.2024).
3. Хабр : сайт : интернет-версия. – URL: <https://habr.com/ru/companies/coolrf/articles/238443/> (дата обращения: 02.05.2024).

Предложение мониторинга трубопроводных систем энергетики на базе ИИС "КУМИр- ресурс"

**Фискин Е.М.¹, Белоусов Р.А.², Кокташев А.А.¹, Конопелько Д.В.¹, Со-
зонтов Н.С.², Латыпов Е.С.², Пинкин А.А.²**

1 – Иркутский национальный исследовательский технический универси-
тет, Иркутск, Россия

2 – ООО Научно-Технический Центр «КУМИр», Иркутск, Россия

fmm1@mail.ru

Введение

В настоящее время в России проходят масштабные процессы цифровизации энергетики, неотъемлемой частью которой являются системы теплоснабжения. Одной из составляющих таких процессов является создание систем автоматизированного мониторинга, предназначенных для повышения качества принимаемых решений по управлению развитием и функционированием систем на основе более полной и адекватной информации о их реальном состоянии. Применительно к теплоснабжающим системам создание таких систем предоставляет новые возможности для более эффективного согласования интересов, требований и возможностей всех сторон, участвующих в процессах производства, транспорта и потребления тепловой энергии.[1-3]

Основным назначением систем мониторинга является информационно-аналитическая поддержка обоснования управленческих решений по обеспечению надежности, качества и эффективности процессов теплоснабжения.

Внедрение систем мониторинга потенциально позволит реализовать процесс непрерывного слежения за режимами работы ТС в реальном времени по результатам измерений только части режимных параметров в отдельных точках.

Параметры, которые мы измеряем в режиме работы Трубопроводных систем: давления и температуры (температурный режим) по всем элементам и узлам схемы ТС.[3]

Знание полной картины режимов позволит контролировать их допустимость, нарушения в условиях работы оборудования, степень обеспеченности потребителей, минимизировать риски возникновения аварийных ситуаций.

История НТЦ «Кумир» началась с учёта энергоресурсов отдельных потребителей, а сейчас цифровые модули учёта устанавливают и на тепловые сети. В данный момент есть множество проблем, связанных с трубопроводными системами энергетики. Можно выделить некоторые из них: нет полноценного отслеживания в точках учёта от тепловых сетей до

потребителя, нельзя осуществлять мониторинг в каком месте произошел гидроудар, нет возможности провести массовый мониторинг и анализ потери сети.

Существует множество программ, такие как «ZuluHydro» которые производят расчеты по трубопроводным системам энергетики, но нет реализации на практике. Благодаря нашему предложению тому мы можем видеть полную картину в режиме реального времени.

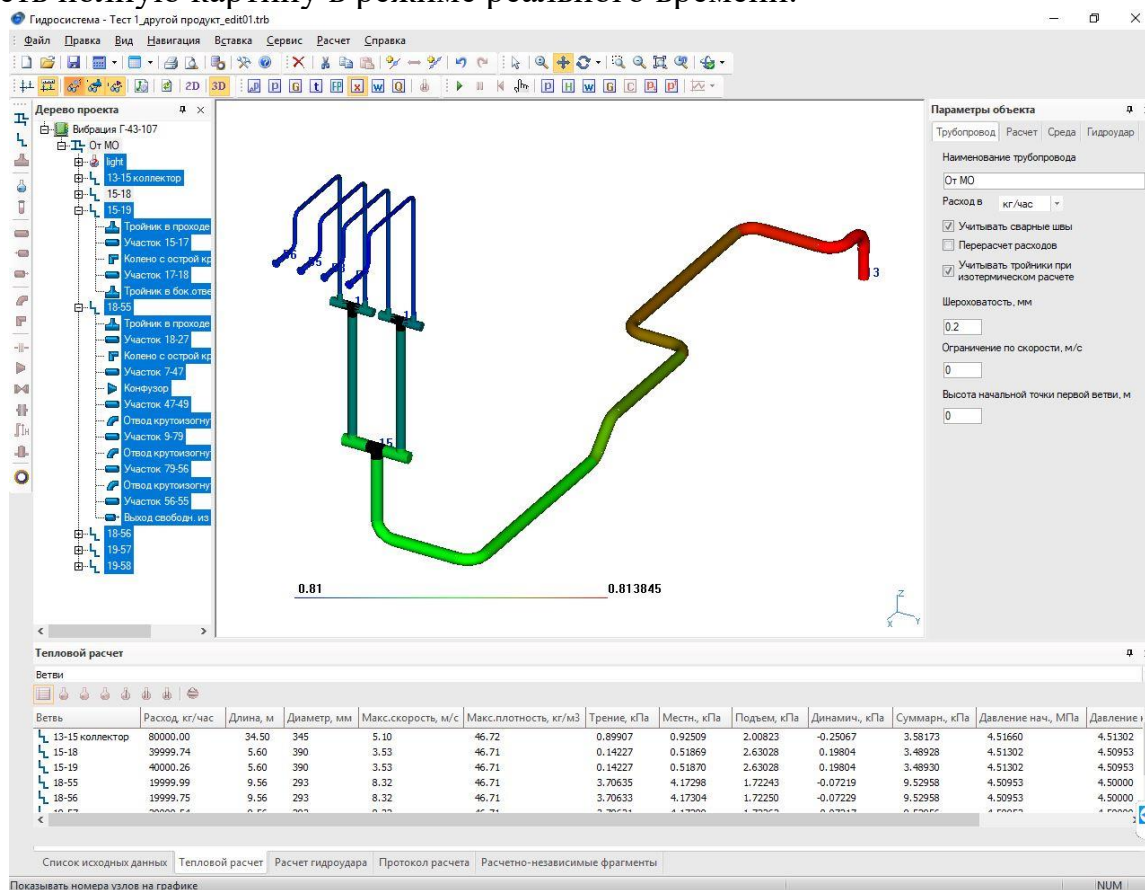


Рисунок 1 – программа «ZuluHydro»
Проблемы реализации

НТЦ «Кумир» занимается коммерческим учетом и имеет сертификат и ГОСТ стандарт. Последние пару лет занимается диспетчеризацией и техническим учетом. Производит мониторинг у источников на насосных станциях, на котельных, а вот что происходит в трубопроводных системах неизвестно. МУП «ШТС» (МУП «Шелеховские тепловые сети») попросили создать точки контроля в тепловых камерах и здесь существуют инструментальные проблемы:

- Дорогостоящие цифровые датчики давления
- Сложность передачи данных из тепловых камер из-за высокой степени экранирования радиосигнала
- Сложность питания устройств из-за отсутствия электроэнергии в тепловых камерах

Реализация проекта

Если цифровые датчики температуры (Кумир ДТ113) не являются дорогостоящим продуктом, то про цифровые датчики давления так сказать нельзя. Было принято решение использовать аналоговые датчики давления с интерфейсом «4 – 20мА» (ПД-100), с которого будем снимать напряжение через шунтирующий резистор с помощью модуля КУМИР-NET СКТ-1.

Проблему с питанием будем решать путем установки в каждый объект аккумулятора. При этом расчетно замена АКБ будет производиться 1 раз в месяц. В случае если появится необходимость увеличить интервал замены, то будут устанавливаться АКБ большей ёмкости.

Проблема сложности передачи данных из тепловых камер из-за высокой степени экранирования радиосигнала в настоящий момент решается. Проводятся испытания на объектах и испытываются антенны разной чувствительности.

Используемые устройства:



ПД - 100 МОДУЛЬ СКТ - 1 Кумир ДТ113

Рисунок 2. Используемые устройства для реализации проекта.

Ожидаемый результат

Дата/Время		Температура, С			Давление, кгс/см ²	
		T1	T2	T1-T2	P1	P2
25.04.2024	0:00:14	65,40	46,79	18,61	6,00	2,67
25.04.2024	0:05:11	65,37	46,81	18,56	6,04	2,65
25.04.2024	0:10:09	65,30	46,89	18,41	6,04	2,68
25.04.2024	0:15:11	65,19	46,91	18,28	6,06	2,68
25.04.2024	0:20:10	65,24	46,94	18,30	6,03	2,72
25.04.2024	0:25:11	65,24	46,94	18,30	6,02	2,68
25.04.2024	0:30:08	65,19	46,94	18,25	6,02	2,67
25.04.2024	0:40:06	65,17	46,96	18,21	6,04	2,68
25.04.2024	0:45:10	65,17	47,07	18,10	6,00	2,69
25.04.2024	0:50:10	65,14	47,14	18,00	6,02	2,66
25.04.2024	0:55:11	65,14	47,17	17,97	6,06	2,69
25.04.2024	1:00:09	65,30	47,17	18,13	6,02	2,65
25.04.2024	1:05:06	65,22	47,19	18,03	6,02	2,62

Рисунок 3. Показания температуры и давления для пользователей



Рисунок 4. Мониторинг одного из колодцев

Заключение

В проделанной работе совместно с коммерческим учётом и техническим учётом мы сможем проверять данные в точках учёта, благодаря чему мы сможем регистрировать аварийные события в трубопроводных системах энергетики. Так же проверять теоретические материалы, предоставленными ведущими специалистами в этой сфере.

Список литературы

1. Меренков А.П., Хасилев В.Я. Теория гидравлических цепей. – М.: Наука, 1985. – 279 с.
2. Новицкий Н.Н. Оценивание параметров гидравлических цепей. – Новосибирск: Наука, 1998. – 214 с.
3. Правила организации теплоснабжения в Российской Федерации: утв. Постановлением Правительства РФ от 08.08.2012 № 808 (ред. от 14.02.2020) "Об организации теплоснабжения в Российской Федерации и о внесении изменений в некоторые акты Правительства Российской Федерации". – Пп. 124.16–124.22. Оценка надлежащего технического состояния тепловых сетей потребителя, расположенных между точкой поставки и точкой учета тепловой энергии (мощности).
4. Афраймович Э.Л. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли / Э.Л. Афраймович, Н.П. Перевалова – Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2006. – 480 с.
5. Соколов Е.Я. Теплофикация и тепловые сети: учеб. для вузов. 7-е изд. М.: Изд-во МЭИ, 2001. С. 472.
6. Зингер Н.М. Гидравлические и тепловые режимы теплофикационных систем. М.: Энергия, 1976. С. 335.

Формирование радиосигналов на основе полиномов Чебышева

Гагарин С. И., Хацкевич Д. В., Полетаев А.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

slaveofst@gmail.com, danilhackevich274@gmail.com, sardaukar9@yandex.ru

В данной работе исследуется возможность формирования сигналов на основе полиномов Чебышева при помощи среды программирования LabVIEW. Полиномы Чебышева представляют собой ортогональные многочлены, обладающие рядом полезных свойств, которые делают их привлекательными для широкого спектра применений в модуляции сигналов. Использование среды программирования LabVIEW, известной своей мощью в обработке сигналов и интуитивно понятным графическим интерфейсом, позволяет эффективно реализовать алгоритмы формирования сигналов. В рамках этого исследования рассматривается подход к формированию сигналов на основе полиномов Чебышева, включая использование встроенных функций LabVIEW и разработку собственных алгоритмов с использованием фундаментальных математических операций. Результаты исследования демонстрируют высокую эффективность и точность предложенных подходов, открывая новые возможности для использования полиномов Чебышева в различных областях, где требуется генерация и анализ сигналов. Одной из таких областей является Иркутский радар некогерентного рассеяния (ИРНР). Иркутский радар некогерентного рассеяния представляет собой моноэлектронный импульсный радиолокатор с частотным сканированием. Антенна радара представляет собой достаточно сложную конструкцию. ДН антенны ИРНР в направлении сканирования (азимутальное направление) формируется линейной решеткой щелевых излучателей.

Общие сведения

Полиномы Чебышева — это ортогональные многочлены, названные в честь российского математика Пафнутия Львовича Чебышева. Они определяются рекуррентным соотношением:

$$T_0(x) = 1, T_1(x) = x, \\ T_n(x) = 2x T_{n-1}(x) - T_{n-2}(x),$$

где $T_n(x)$ - полином Чебышева n -й степени.

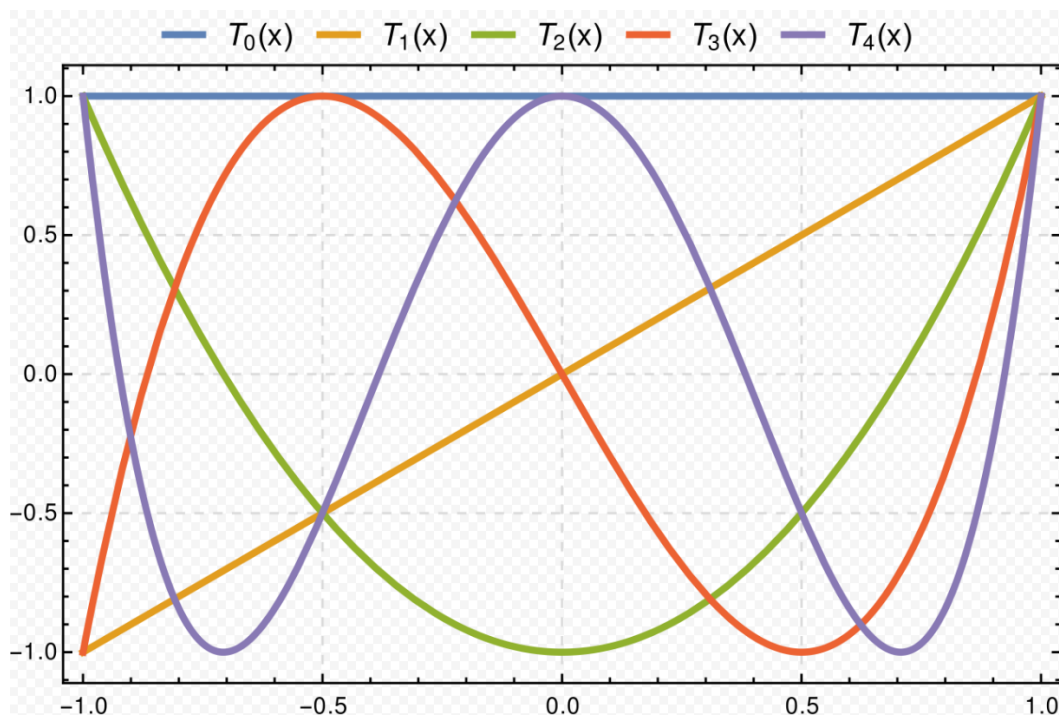


Рисунок 1. Полиномы Чебышева

На рисунке 1 приведены графики полиномов Чебышева первых четырех порядков. Основные свойства полиномов Чебышева:

Ортогональность: Полиномы Чебышева ортогональны на интервале $[-1, 1]$ с весовой функцией $1/\sqrt{1-x^2}$.

Экстремумы: Полиномы Чебышева принимают экстремальные значения (максимумы и минимумы) только на концах интервала $[-1, 1]$.

Равномерное распределение нулей: Нули полиномов Чебышева равномерно распределены на интервале $[-1, 1]$.

Полиномы Чебышева имеют широкий спектр приложений, включая:

- Аппроксимация функций
- Интерполяция данных
- Численное интегрирование и дифференцирование
- Теория чисел
- Цифровая обработка сигналов
- Теория вероятностей и статистика

Их уникальные ортогональные свойства и равномерное распределение нулей делают их особенно полезными в приложениях, где требуется точное представление или анализ данных.

Выбор среды программирования

LabVIEW (Laboratory Virtual Instrumentation Engineering Workbench) — это графическая среда программирования, разработанная компанией National Instruments. Она широко используется для разработки приложений в области автоматизации, обработки сигналов, управления и сбора данных. Выбранная среда программирования имеет следующие отличительные

черты: графический интерфейс программирования; модульность; наличие большого количества библиотек функций, охватывающих широкий спектр областей, включая обработку сигналов, управление данными, связь с аппаратным обеспечением; поддержка различных языков программирования; интеграция с оборудованием, LabVIEW тесно интегрируется с аппаратным обеспечением National Instruments, таким как платы сбора данных и контроллеры. LabVIEW широко используется в различных отраслях, например:

- Автоматизация тестирования и измерений
- Обработка сигналов и анализ данных
- Управление промышленными процессами
- Разработка пользовательских интерфейсов
- Исследования и разработки

Формирование ЧМ сигналов при помощи полиномов Чебышева

Суть данной работы заключалась в том, чтобы сделать программное обеспечение, способное смоделировать частотно модулированные (ЧМ) импульсы с заданными характеристиками на основе полиномов Чебышева. При этом разработанное ПО должно также использоваться в дальнейшем для формирования радиосигнала в диапазоне очень высоких частот при помощи трансивера NI USRP. На рисунке 2 приведена блок-схема разработанной программы. Данную программу можно разбить на следующие этапы формирования:

1. Создание полинома Чебышева с необходимым нам порядком.

Для этого мы используем блок Chebyshev Polynomial VI. Для данного блока значение n – порядок полинома, x – массив действительных чисел, $T(n, x)$ - значение n -го полинома Чебышева в точке x . Результат приведен на рисунке 3.

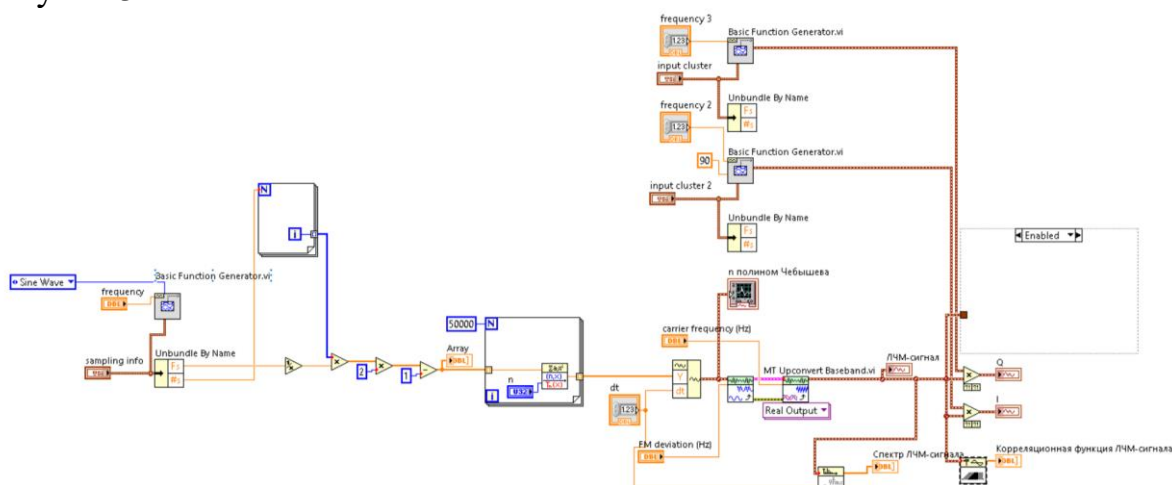


Рисунок 2. Программа, формирующая ЧМ сигнал при помощи полиномов Чебышева

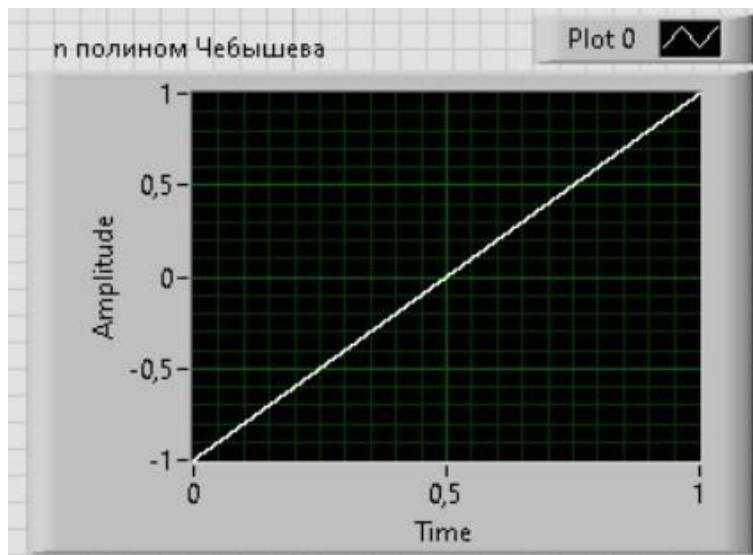


Рисунок 3. Полином Чебышева 1-го порядка

2. ЧМ модуляция с использованием полинома Чебышева.

Частотная модуляция осуществляется при помощи блока MT Modulate FM VI. На вход message signal подается модулирующий сигнал. Для нашего случая мы подаем полином Чебышева. Вход FM deviation определяет желаемое отклонение частоты в герцах (Гц) частотно-модулированного сигнала. Девиация частоты рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta f = \frac{f_n - f_k}{2},$$

Где f_n – начальная частота ЧМ сигнала,
 f_k – конечная частота ЧМ сигнала.

На выходе данного блока мы получаем квадратуры ЧМ сигнала и для дальнейшего построения сигнала нам необходим блок MT Upconvert Baseband VI. На вход блока подаются комплексные значения ЧМ сигнала. На входе carrier frequency мы настраиваем частоту модулируемого сигнала. Осциллограмма ЧМ сигнала приведена на рисунке 4

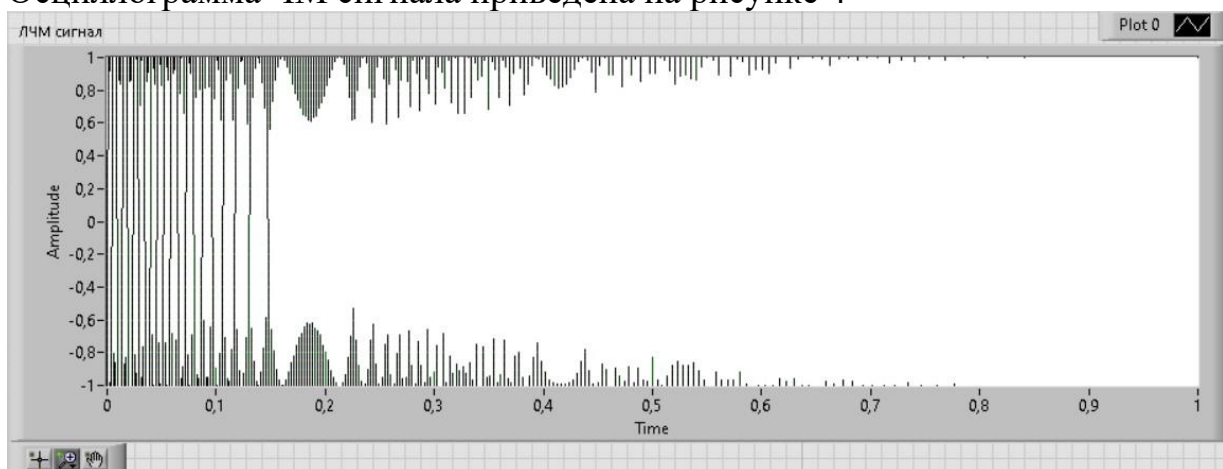


Рисунок 4. Сформированный сигнал при помощи полинома Чебышева 1-го порядка.

3. Исследование свойств сформированного сигнала.

Построим спектр данного сигнала при помощи блока Auto Power Spectrum VI, результат приведен на рисунке 5. Как видно, спектр полученного сигнала имеет характерный вид для ЧМ импульса с большой базой. Для построения автокорреляционной функции (АКФ) был использован блок AutoCorrelation VI. Результат изображен на рисунке 6. Сформированный сигнал обладает узкой АКФ с высокой степенью подавления боковых лепестков.

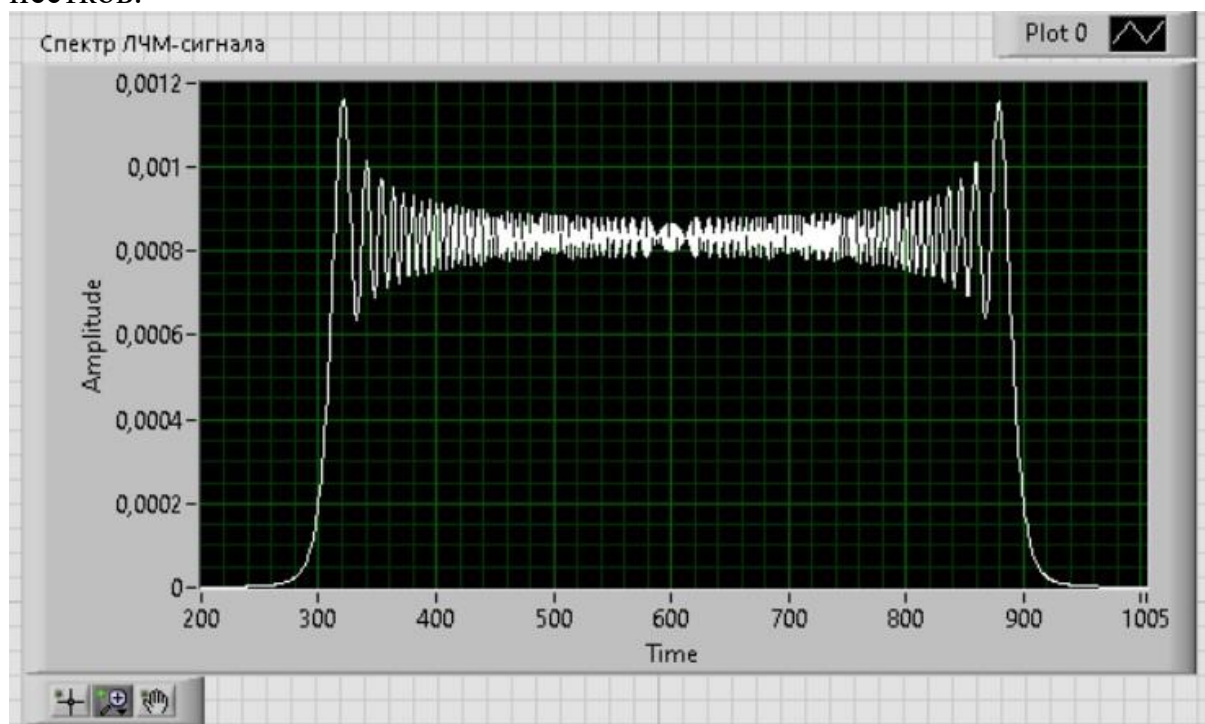


Рисунок 5. Спектр сформированного сигнала

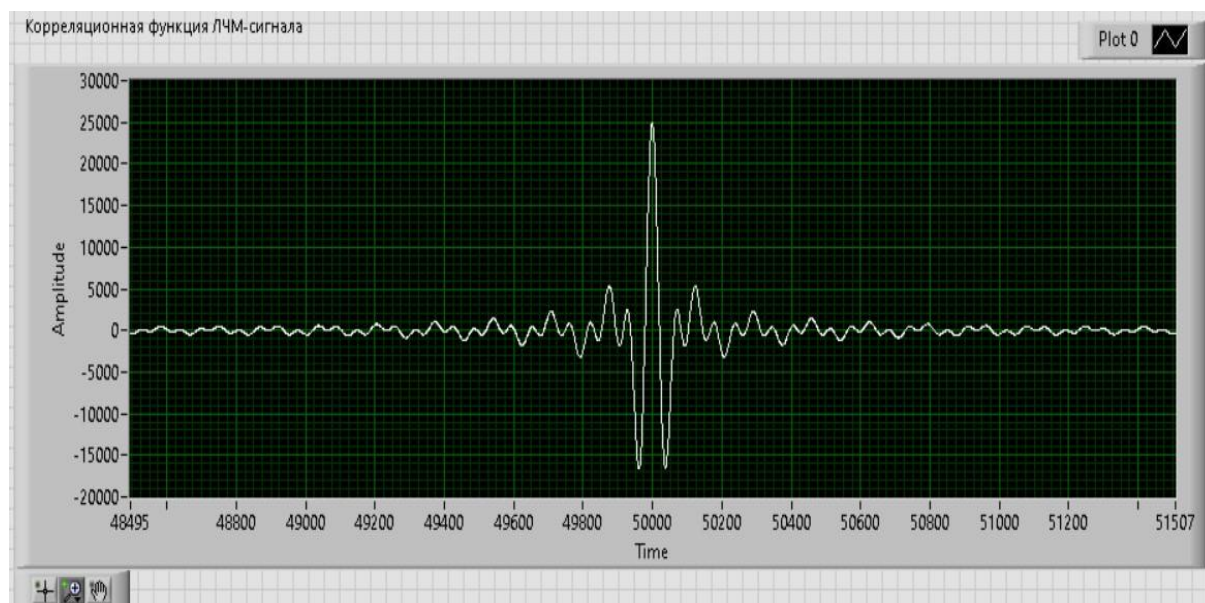


Рисунок 6. Автокорреляционная функция сформированного сигнала

Заключение

В ходе проведенной работы была разработана программа, формирующая частотно-модулированные (ЧМ) сигналы при помощи полиномов Чебышева. Программа принимает в качестве входных параметров частоту несущей, частоту модуляции и желаемую форму волны. Полиномы Чебышева используются для создания ЧМ-сигналов с заданной формой волны. Программа успешно генерирует различные формы волны. Сгенерированные ЧМ-сигналы были проанализированы с использованием спектрального анализатора для оценки их частотных характеристик.

Разработанная программа является гибкой и простой в использовании, что делает ее ценным инструментом для исследователей и разработчиков, работающих с ЧМ-сигналами. Данная программа может быть полезна при использовании на Иркутском радаре некогерентного рассеяния (ИРНР). Реализация радиосигналов, сформированных с помощью полиномов Чебышева, в локаторах с частотным сканированием имеет значительный потенциал для улучшения производительности радаров в различных приложениях, включая исследования особенности вариаций электронной и ионной температур, скорости, концентрации ионосферной плазмы в различных геофизических условиях, изучение околоземного пространства.

Полученные результаты подтверждают возможность использования полиномов Чебышева для формирования ЧМ-сигналов с желаемыми характеристиками.

Список литературы

1. Васильев А.С., Лашманов О.Ю. Основы программирования в среде LabVIEW. – СПб: Университет ИТМО, 2015 – 82 с.
2. Полетаев А.С. Программирование в среде Lab-VIEW. Разработка виртуальных приборов для сбора данных, автоматизации измерений и передачи информации: [в 2 ч.] : лаб. практикум / А.С. Полетаев, А.Г. Ченский. – Иркутск: Изд-во ИРНИТУ, 2019. – 2 ч.
3. Черенок Н.Г. Сверхширокополосные переносчики, формируемые классическими ортогональными полиномами: Монография / Н.Г. Черенок, - СПб.: МВАА, 2018. – 210 с.
4. Лебедев В.П., Сетов А.Г., Ермаков В.Ю. Антенна Иркутского радара некогерентного рассеяния: математическая модель, методы калибровки // Всероссийские открытые Армандовские чтения: Современные проблемы дистанционного зондирования, радиолокации, распространения и дифракции волн : Материалы Всеросс. открытой науч. конф. Муром: МИ ВлГУ, 2022. С. 527-537. - DOI: 10.24412/2304-0297-2022-1-527-537.

Особенности и преимущества цифровизации сетей низкого напряжения 0,4 кВ на базе ИИС «КУМИР-РЕСУРС»

Фискин Е.М., Валиулин М.В., Болоев Е.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

fmm1@rambler.ru, mihailvaliulin@ya.ru, boloev@mail.ru.

В статье рассматривается проблема энергоресурсов и цифровизации в электроэнергетике в 21 веке. Молодые учёные из ИРНИТУ и НТЦ "Кумир" представляют свою инновационную систему цифровизации, основанную на интеллектуальной платформе учёта информационно-измерительной системы "КУМИР-РЕСУРС". Система обеспечивает эффективный контроль параметров электросетей, отслеживание энергопотребления и мониторинг состояния оборудования в реальном времени. Статья подробно описывает функциональность системы, её соответствие нормативам и возможности дистанционного мониторинга приборов учёта клиентов и подстанций.

Введение

В 21 веке люди стали более осознанно подходить к расходованию энергоресурсов, что совпало со стремительным развитием цифровизации в сфере электроэнергетики. Сейчас на рынке имеется множество различных приборов для учёта энергоресурсов. Группа молодых учёных из ИРНИТУ совместно с НТЦ «Кумир» также не смогли остаться в стороне и представили миру своё видение цифровизации.

История НТЦ «Кумир» началась с учёта энергоресурсов отдельных потребителей, а сейчас цифровые модули учёта устанавливаются и на питающие трансформаторные подстанции. В данный момент есть множество проблем, связанных с электрическими сетями низкого напряжения. Можно выделить некоторые из них: нет полноценного отслеживания потерь электроэнергии от трансформаторной подстанции до потребителя, нельзя осуществлять мониторинг несимметрии фазных напряжений, нет возможности провести массовый мониторинг и анализ качества электроэнергии в электрической сети. Эти вопросы можно решить путём одновременного контроля параметров режима трансформаторной подстанции и отдельных потребителей.

Информационно-измерительная система «КУМИР-РЕСУРС»

В основу нашего проекта положена интеллектуальная платформа учёта информационно-измерительной системы (ИИС) «КУМИР-РЕСУРС», которая сертифицирована для учёта энергоресурсов. ИИС «КУМИР-РЕСУРС» построена на основе ОС Linux и базы данных PostgreSQL. Скоростное коммуникационное ядро системы написано на низкоуровневом языке Си и при среднем времени опроса приборов учёта в 1 минуту способно обрабатывать десятки миллионов транзакций в сутки. При этом каждый из

приборов учета опрашивается напрямую, исключая развертывание дорогостоящих промежуточных серверов связи. Подробнее о системе указано в таблице 1.

У отдельных абонентов устанавливаются счётчики, которые измеряют ток и напряжение и передают данные в ИИС «КУМИР-РЕСУРС» в режиме реального времени с помощью GPRS-модемов (рисунок 1).

Таблица 1

Реестр функций цифрового РЭС электросетевой компании, реализуемой ИИС КУМИР-Ресурс в пос. Северный г. Ангарска

№	Перечисление требований	Выполненные	Примечания
1	Соответствие нормативным требованиям и требованиям контракта на выполнение работ		
1.1	Федерального закона от 26 марта 2003 г. В 35-ФЗ «Об электроэнергетике»	Да	
1.2	Постановления Правительства 142890 от 19.062020 «О порядке предоставления доступа к минимальному набору функций интеллектуальных систем учета мощности (энергии)»	Да	
1.3	Контракта с ОГУЭП Облком-мунэнерго от 2023г.	Да	
2	Дистанционный мониторинг приборов учета клиентов и подстанций		
2.1	Дистанционный мониторинг показаний приборов учета с передачей данных на сервер ОГУЭП Облком-мунэнерго по каналам мобильной связи	Да	
2.2	Периодичность опроса приборов учета	Да	
2.3	Набор и полнота передаваемых данных приборов учета	Да	Соответствие ПП №890
2.4	Возможность дистанционного ограничения нагрузки и отключения потребителей	Да	Соответствие ПП №890
2.5	Наличие клиентского монитора для индивидуального снятия данных прибора учёта	Да	Ключи Em Marine

2.6	Наличие личного кабинета пользователя в сети Интернет и мессенджере Telegram с авторизацией и аутентификацией входа	Да	
2.7	Контроль параметров потребляемой мощности, токов и напряжений на фидерах п/ст №12 и 3	Да	
2.8	Пофидерный контроль баланса потребляемой энергии за период	Частично	Учёт технических потерь и бездоговорного потребления электроэнергии
3	Дистанционный мониторинг состояния оборудования и помещений п/ст №12 и 3		
3.1	Контроль положения автоматических выключателей (вкл., откл., отключено аварийно)	Да	Оповещение об отключено аварийном) аварийном отключении коммутационных аппаратов
3.2	Контроль положения секционного выключателя п/ст №3	Да	
3.3	Контроль температуры контактных соединений	Да	Выдача предупредительного и аварийных сигналов диспетчеру и др. заинтересованным лицам
3.4	Контроль температуры силовых трансформаторов с выдачей сигнала при её превышении	Да	
3.5	Контроль нагрузки силовых трансформаторов с выдачей сигнала о перегрузке (возможно с обратной зависимой токовой)	Да	

	характеристикой)		
3.6	Контроль доступа на подстанцию	Да	
3.7	Пожарный контроль помещений подстанции	Да	
4	Диспетчерский контроль подстанций и коммуникационной сети ИИС КУМИР-Ресурс		
4.1	Контроль качества каналов связи и состояния коммуникационного оборудования ИИС КУМИР-Ресурс	Да	
4.2	Аутентификация и авторизация пользователей диспетчерской РЭС	Да	
4.3	Дублирование интерфейса диспетчера на мобильных устройствах заинтересованных лиц	Да	
4.4	Ведение журналов событий	Да	
4.5	Визуализация трендов основных параметров сети	Да	
4.6	Отображение сети с привязанным (GPS, Глонасс) расположением подстанций РЭС на карте района электрических сетей	Да	
4.7	Многоуровневое вложенное отображение подстанций и оборудования на карте района электрических сетей	Да	

ОТЧЕТ ПО ИТОГОВЫМ И МГНОВЕННЫМ ЗНАЧЕНИЯМ																					
Код узла:		VV_155		Тип прибора:		Меркурий 234		Заводской номер:		43559688											
Потребитель:		Березовая, 155, опора № 6-7																			
Модем:		Адаптер КУМИР-Net № 7586-100000-0000ас > 1										Тариф:								1	
Дата/Время	Активная энергия, кВт*ч		Реактивная энергия, кВАр*ч		Напряжение, В			Ток, А			F, Гц	Коэффициент мощности				Угол между фазами				dt, ч	
	A импорт	A экспорт	R импорт	R экспорт	A	B	C	A	B	C		A	B	C	S	AB	AC	BC			
01.03.2024 00:13:58	130712.80	0.00	334.26	13075.76	226.52	235.02	235.42	16.01	20.83	0.23	50.04	1.00	1.00	0.96	1.00	119.91	239.46	119.53	5.00		
01.03.2024 17:30:25	130856.26	0.00	334.26	13084.29	226.52	231.82	235.48	16.06	21.11	0.23	50.01	1.00	1.00	0.96	1.00	120.79	240.10	119.31	5.00		
02.03.2024 00:28:51	130915.61	0.00	334.26	13087.24	227.27	235.81	237.50	16.01	20.79	0.23	50.00	1.00	1.00	0.96	1.00	119.94	239.75	119.80	5.00		
02.03.2024 19:33:17	131080.11	0.00	334.34	13095.17	225.01	237.66	236.11	21.46	16.56	0.23	50.02	1.00	1.00	0.96	1.00	120.28	239.22	118.97	5.00		
03.03.2024 00:17:04	131122.08	0.00	334.34	13097.14	228.46	237.09	236.52	15.92	20.22	0.23	50.02	1.00	1.00	0.96	1.00	120.00	239.36	119.36	5.00		
03.03.2024 02:59:49	131145.28	0.00	334.34	13098.26	225.06	233.62	235.53	16.17	20.83	0.07	50.04	1.00	1.00	0.93	1.00	120.54	239.46	118.92	5.00		
Электросетевая организация:										/											
Представитель потребителя:										/											

Рисунок 1 – Данные, получаемые от абонента

Измеряемые параметры на трансформаторной подстанции: фазные токи на отходящих фидерах, трехфазные и пофазные мощности, температура верхних слоев масла силовых трансформаторов и контактных соединений на фидерах, линейные и фазные напряжения на шинах подстанции. Модулями также контролируются положения выключателей отходящих

фидеров. При превышении допустимых температур на датчиках силовых трансформаторов и контактных соединений фидеров модулями, разработанными НТЦ «Кумир», сигнал о перегреве автоматически передается на сервер. Именно такой контроль температур позволяет своевременно выявить места возникновения потенциальных аварийных ситуаций на подстанции. Более подробно информация об отображении контролируемых параметров представлена на рисунках 2 и 3.

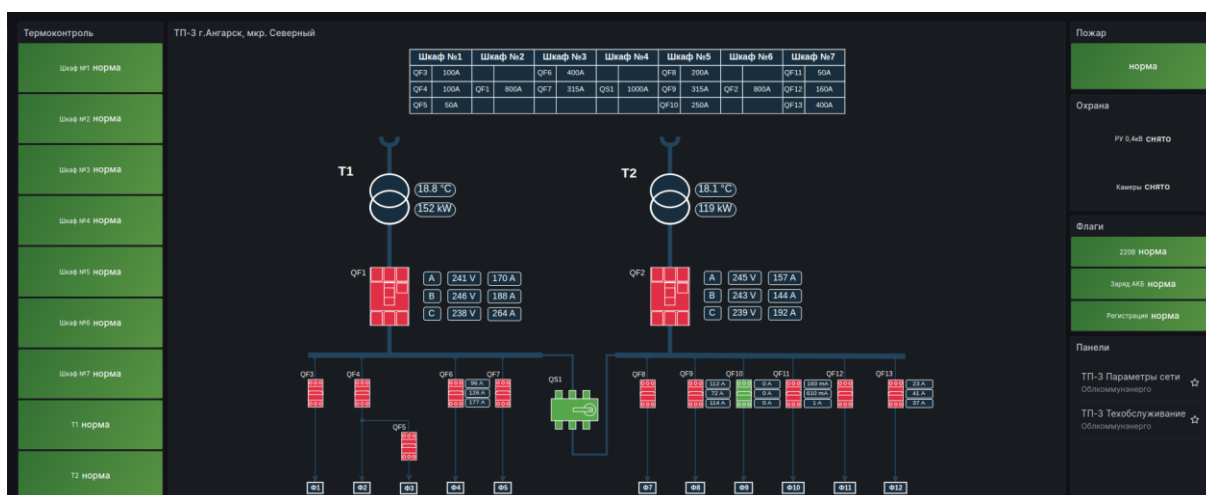


Рисунок 2 – Температура фидеров подстанции

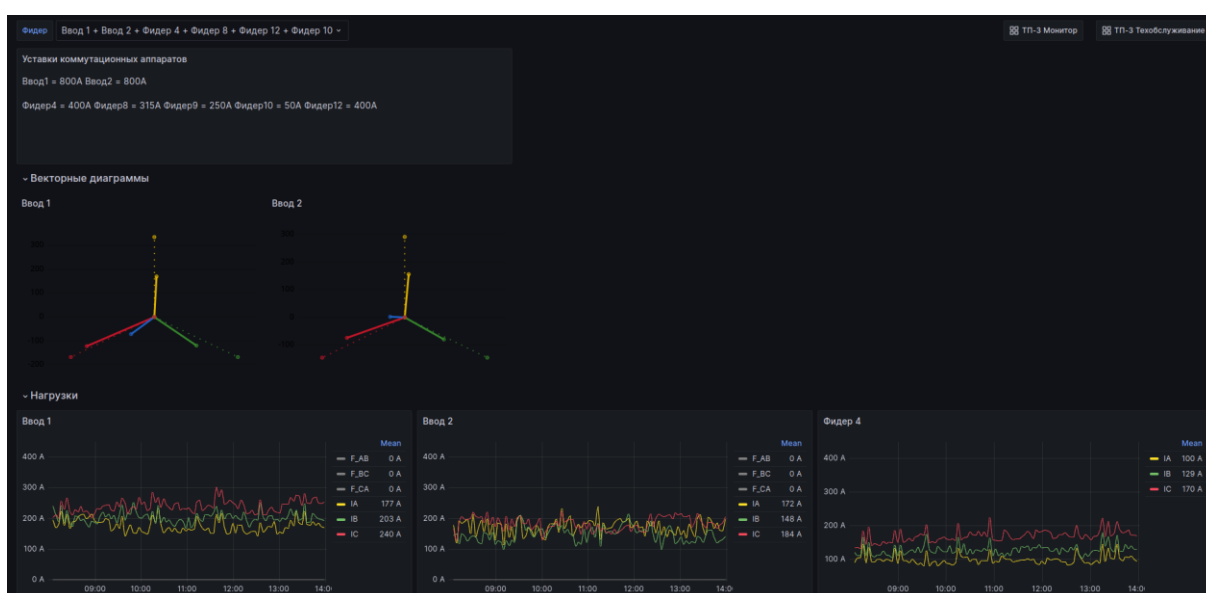


Рисунок 3 – Диаграмма фазных напряжений

В результате обработки и сопоставления параметров режима, полученных от абонентов, и параметров режима трансформаторной подстанции решаются следующие задачи:

- коммерческий учет электроэнергии;
- расчет потокораспределения для контроля параметров и анализа режимов электрической сети;

- контроль и ограничение нагрузок потребителей;
- контроль нагрузок трансформаторов подстанций и электрических сетей;
- симметрирование фазных нагрузок в электрической сети;
- расчет технических и коммерческих потерь электроэнергии;
- разработка мероприятий по снижению потерь электроэнергии;
- локализация мест бездоговорного и безучётного электропотребления в электрических сетях;
- мониторинг и анализ качества электроэнергии в электрической сети;
- регистрация аварийных событий в электрических сетях;
- информирование диспетчеров районной сети об отключениях электроэнергии.

Заключение

Мониторинг сети предлагает сетевым операторам несколько преимуществ для повышения наблюдаемости сети и оптимизации режимов. НТЦ «Кумир» представляет новое облачное решение, позволяющее использовать мониторинг параметров режима сети и показателей качества электроэнергии в качестве услуги, помогающей диспетчерам электрических сетей, специалистам по планированию режимов и ремонтному персоналу обеспечивать качественное и бесперебойное электроснабжение потребителей в данный момент времени и на перспективу.

Список литературы

1. Макаров А. Ю. Цифровизация электрических сетей. Практический опыт. – М.: Экономика. 2019. – 128 с.
2. Белоусов Р.А., Гапеев А.Н., Фискин Е.М., Николаев А.А., Федчишин В.В., Фискина М.М. Концептуальный подход к созданию и развитию интеллектуальной системы учета энергоресурсов "КУМИР-РЕСУРС" // Автоматизация в промышленности. - 2023. - №8. - С. 3-7.

Повышение наблюдаемости с элементами цифровизации и контролем параметров трансформаторной подстанции филиала РТРС «Иркутский ОРТПЦ» по низковольтной стороне

Рябинова К.О., Фискина М.М., Болоев Е.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

ksusha.you@icloud.com, fmm1@rambler.ru, boloev@mail.ru

В 21 веке одной из проблем человечества стал расход энергоресурсов, повлекший за собой стремительное развитие цифровизации. В данной статье мы рассмотрим более экономичный способ отслеживания параметров электросети, который сможет обеспечить снижение потерь электроэнергии и повысить надёжность работы электрической сети и оборудования трансформаторной подстанции филиала РТРС «Иркутский ОРТПЦ» по низковольтной стороне.

Введение

В настоящее время для отслеживания параметров электрической сети специалисты в сфере энергетики устанавливают на трансформаторные подстанции различные устройства, способные фиксировать и передавать информацию о состоянии подстанции дистанционно. Целью работы является создание проекта по повышению наблюдаемости трансформаторной подстанции филиала РТРС в г. Иркутске. Задача, которая может быть решена с помощью данной работы - обеспечение удалённого мониторинга основных показателей электросети, так как в данный момент наблюдать удалённо за работой подстанции довольно сложно. Про её состояние узнают только при техобслуживании.

Повышение наблюдаемости на базе НТЦ «Кумир-ресурс»

Цифровизация в экономике, промышленности и инфраструктуре – единый комплекс технических и управленческих операций, выполняемых в потоковом режиме автоматизированных сквозных бизнес-процессов с применением технологий BIG DATA и исключением участия человека в принятии рутинных решений [1]. Данный способ отслеживания параметров электросети является более дорогостоящим в отличие от способа повышения наблюдаемости с элементами цифровизации.

В основу проекта заложен функционал интеллектуальной информационно-измерительной системы «КУМИР-РЕСУРС», сертифицированной для учёта энергоресурсов.

ИИС «КУМИР-РЕСУРС» построена на основе ОС Linux и базе данных PostgreSQL. Скоростное коммуникационное ядро системы написано на низкоуровневом языке Си и при среднем времени опроса приборов учета в 1

минуту способно обрабатывать десятки миллионов транзакций в сутки. При этом каждый из приборов учета опрашивается напрямую, исключая развертывание дорогостоящих промежуточных серверов связи.

В основе нашего проекта используется схема трансформаторной подстанции по низковольтной стороне, изображённая на рисунке 1. В данную схему нам необходимо внедрить датчики для контроля основных параметров трансформаторной подстанции (ток, температура трансформатора, напряжение, положение автоматических выключателей), изображённые на рисунке 2.

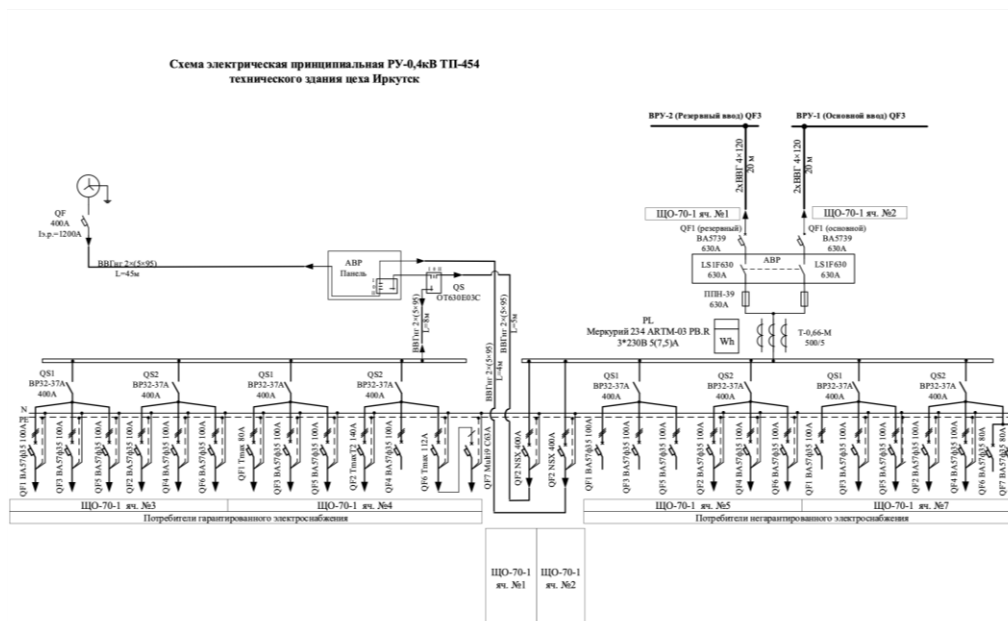


Рисунок 1. Схема трансформаторной подстанции филиала РТРС «Иркутский ОРТПЦ» по низковольтной стороне

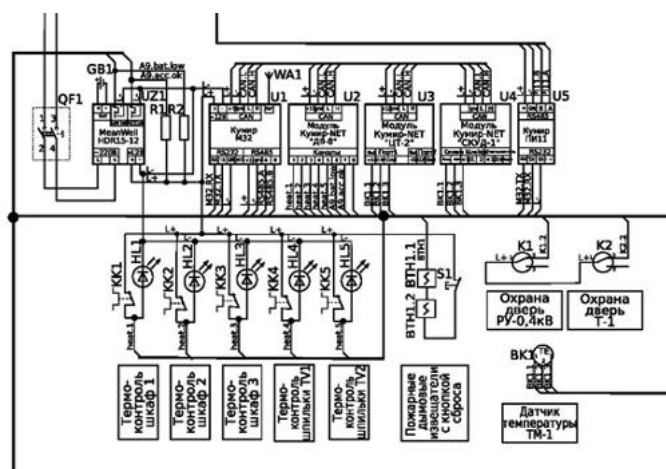


Рисунок 2. Датчики для контроля основных параметров трансформаторной подстанции на схеме.

В данной схеме используются следующие приборы: DS18B20 цифровой термометр с программируемым разрешением, от 9 до 12-bit, которое может сохраняться в EEPROM памяти прибора. DS18B20 обменивается данными по 1-Wire шине и при этом может быть как единственным устройством на линии так и работать в группе. Все процессы на шине управляются центральным микропроцессором.

Диапазон измерений от -55°C до $+125^{\circ}\text{C}$ и точностью 0.5°C в диапазоне от -10°C до $+85^{\circ}\text{C}$. В дополнение, DS18B20 может питаться напряжением линии данных, при отсутствии внешнего источника напряжения.

GSM-модем «КУМИР» М32 используется для передачи сохранённых и текущих данных и аварийных сообщений от измерительного оборудования в информационно-измерительную систему «КУМИР-РЕСУРС». Модем работает в цифровой сотовой сети GSM 900/1800 МГц. Модем выпускается в пластиковом корпусе, устанавливаемом на DIN-рейку. Он обладает всеми необходимыми функциями для мониторинга измерительного оборудования и имеет порты с интерфейсами RS-232, RS-485 и CAN.

Модули «КУМИР-Net», версии K24-232 и K24-485, предназначены для использования в качестве модуля расширения для «КУМИР-Net», части информационно-измерительной системы «КУМИР-РЕСУРС», для добавления двух интерфейсов RS232/485. Они предназначены для использования в качестве модуля расширения информационно-измерительной системы «КУМИР-Ресурс» с двумя независимыми интерфейсами.

Для визуального отслеживания состояния трансформаторной подстанции будет разработан веб-сайт с основными параметрами. Примеры сайта приведены на рисунках 3-6.

На рисунке 3 можно увидеть температуру 2-х трансформаторов в режиме реального времени и общее потребление с каждого трансформатора. Красным цветом по требованию заказчика отмечены автоматические выключатели, которые находятся в работе, около каждого из них табличка с параметрами тока каждого фидера.

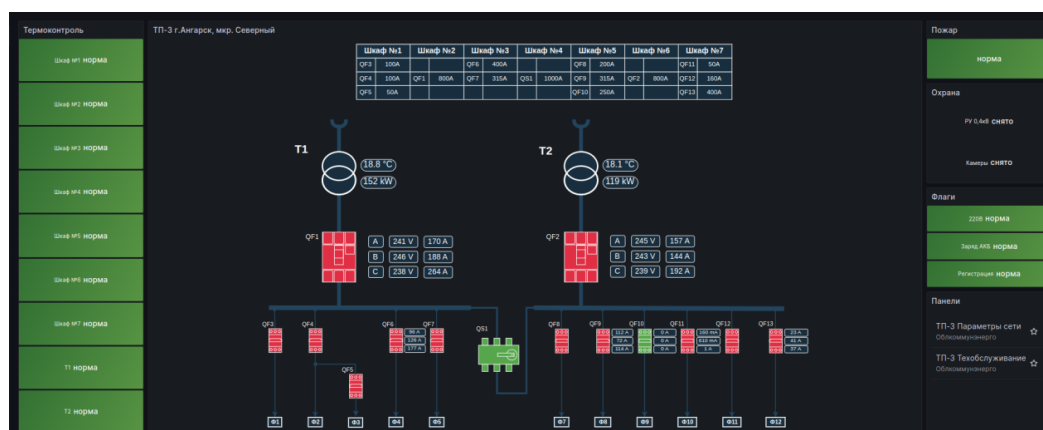


Рисунок 3. Температура 2-х трансформаторов в режиме реального

времени и общее потребление с каждого трансформатора.

На рисунке 4 отображено состояние фидеров - включены они или нет, нет ли на них аварии, а также состояние термоконтроля, заряд батарей интерфейсных модулей, снята или взята на охрану подстанция.

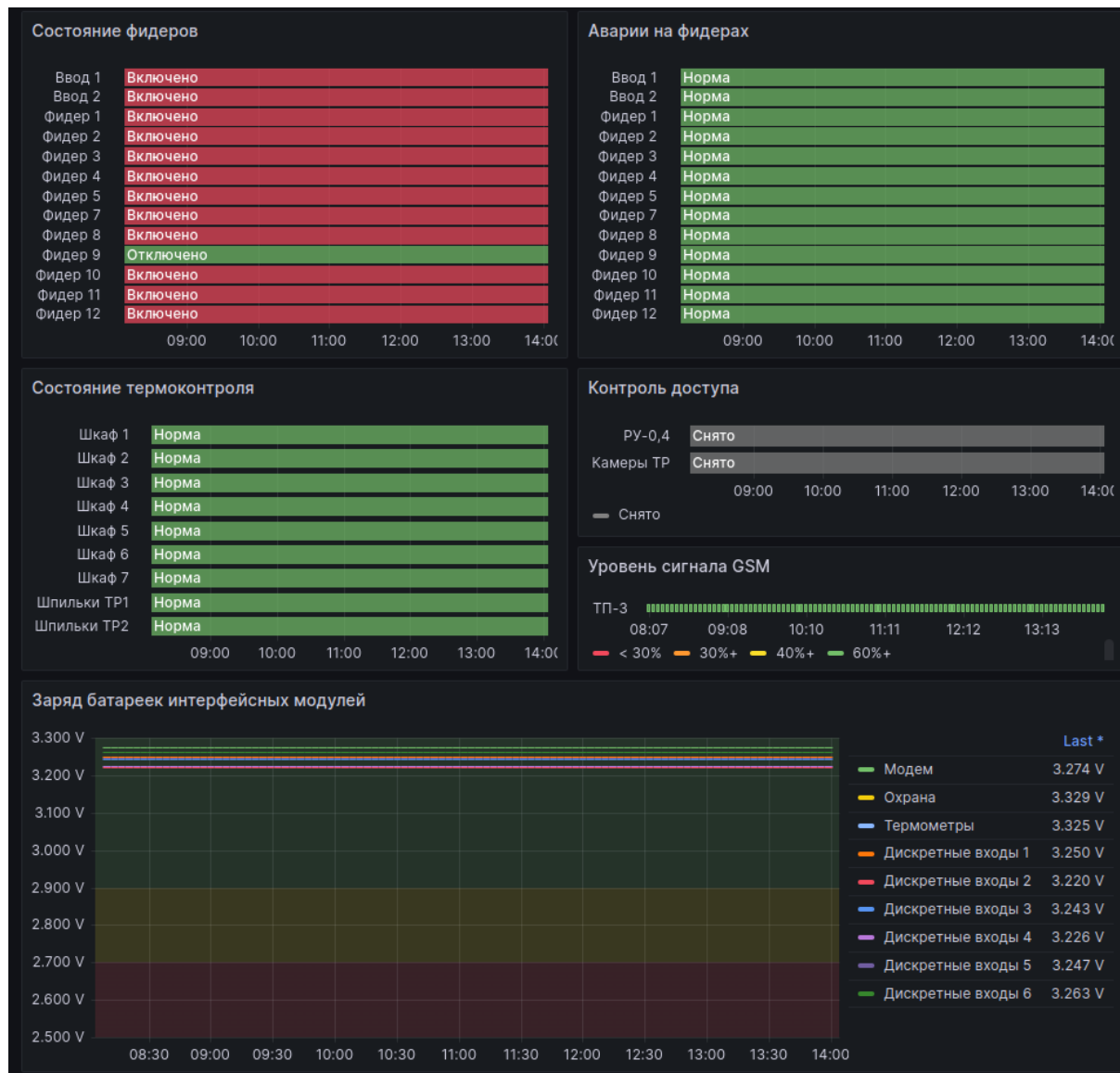


Рисунок 4. Состояние фидеров, состояние термоконтроля, заряд батарей интерфейсных модулей.

На рисунке 5 продемонстрированы векторные диаграммы для каждого трансформатора, по которым мы можем отслеживать перекося фазных напряжений.



Рисунок 5. Векторные диаграммы для каждого трансформатора
На рисунке 6 изображены графики тока на каждом фидере.



Рисунок 6. Ток на каждом фидере виде графика

Заключение

В результате проделанной работы мы должны получить реализованный проект системы мониторинга показателей электрической сети и оборудования ТП, должны обеспечить снижение потерь электроэнергии и повысить надёжность работы электрической сети и оборудования ТП.

Список литературы

1. Макаров А. Ю. Цифровизация электрических сетей. Практический опыт. Москва, 2019.

Поляризационные особенности радиояркой температуры льда при его «просветлении»

Казанцев В.А.

Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН
slava11545@gmail.com

В работе представлены экспериментальные результаты исследования поляризационных особенностей радиояркой температуры плоскостойкого природного льда толщиной ~10 см. на фоне холодного неба. Обнаружен эффект «просветления» на частоте 34 ГГц при температуре исследуемого образца вблизи 0 °С. Установлено, что в случае расположения вектора напряженности электромагнитного поля параллельно базисным плоскостям кристаллов льда, наблюдается уменьшение мощности собственного радиотеплового излучения выше на 20%, чем при его перпендикулярном расположении.

Введение

Знание диэлектрических характеристик в микроволновом диапазоне природных объектов играет одну из ключевых ролей в задачах дистанционного зондирования Земли из космоса. Это особенно важно для криосферных природных объектов, включая ледяные покровы. Так при радиометрических спутниковых измерениях ледяных покровов выявляют некоторые особенности данных объектов (деструкция, минерализация льда и т.п.) [1, 2]. На излучательные и отражательные свойства среды основное влияние оказывают ее диэлектрические характеристики. В ряде исследований электромагнитных свойств ледяных структур были обнаружены аномальные особенности. Так, например, в работах [3, 4], был обнаружен эффект уменьшения диэлектрических характеристик льда при приближении его температуры к фазовому переходу в микроволновом диапазоне. В указанных работах данное явление получило название «просветление». Позднее, в исследовании [5] эффект был обнаружен и в оптическом диапазоне.

В работе [6] было представлено объяснение эффекта, которое связано с возникновением пластической деформации из-за термических напряжений. Также уменьшение диэлектрических потерь наблюдается и для свежевыпавшего снега [7]. Также стоит отметить, что в работах [8, 9] был зафиксирован эффект «просветления» для ледяных структур.

Оценка влияния «просветления» на поляризационные особенности радиояркой температуры, которая характеризует мощность собственного теплового излучения в микроволновом диапазоне, ранее не проводилась. По этой причине целью настоящей работы являлось выяснение поляризационных свойств радиотеплового излучения при эффекте «просветления» для природного плоскостойкого пресного ледяного образования.

Методика эксперимента

Методика эксперимента по определению влияния на поляризационные особенности радиояркостной температуры эффекта «просветления» заключалась в следующем. Был установлен радиометрический приёмник на частоте 34 ГГц под углом 45° к горизонту. Перпендикулярно оси антенны устанавливался образец льда, который был выпилен из ледяного покрова пресного озера, с исходной минерализацией воды 100 мг/л. При этом минерализация льда составляла ~ 1 мг/кг. Толщина исследуемого образца – 10 см. На горизонтальную поверхность устанавливался лист металла, с целью отражения излучения холодного неба. Измерения собственного теплового излучения образца льда осуществлялось на четырех ортогональных поляризациях, а именно горизонтальной (ГП), вертикальной (ВП) и под углом $+45^\circ$ и -45° . Чувствительность радиометра составляет 0,1 К, при постоянной времени 1 с. Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 1.

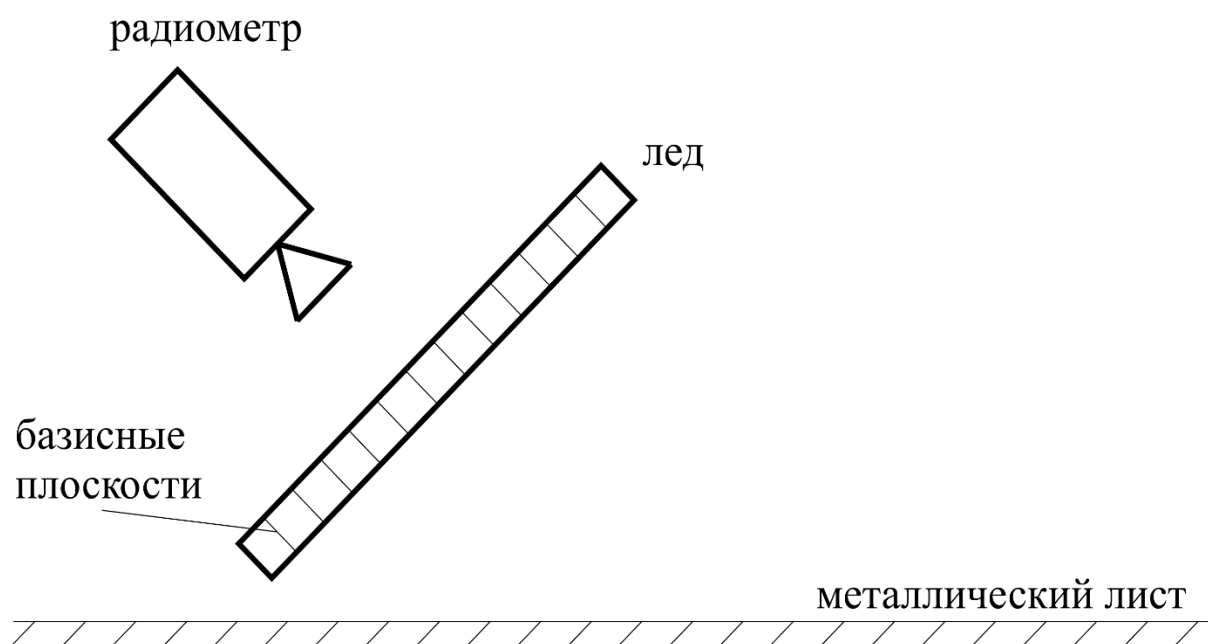


Рисунок 1. Схема экспериментальной установки.

Стоит обратить внимание на расположение базисных осей кристаллов льда. В случае, представленном на рис. 1, главная оптическая ось кристаллов льда (ось С) была расположена параллельно вектору электрического поля вертикальной поляризации радиометра. Согласно работе [6], эффект «просветления» должен иметь большее проявление на поляризациях, которые расположены параллельно базисным плоскостям, так как пластическая деформация при изменении температуры льда в наибольшей степени проявляется именно в данных плоскостях.

Результаты и их обсуждение

На рисунке 2 представлен график изменения радиояростной температуры ($T_{я}$) льда для четырех линейных поляризаций по мере его нагревания за счет окружающей среды, которая имела температуру равную $+5^{\circ}\text{C}$.

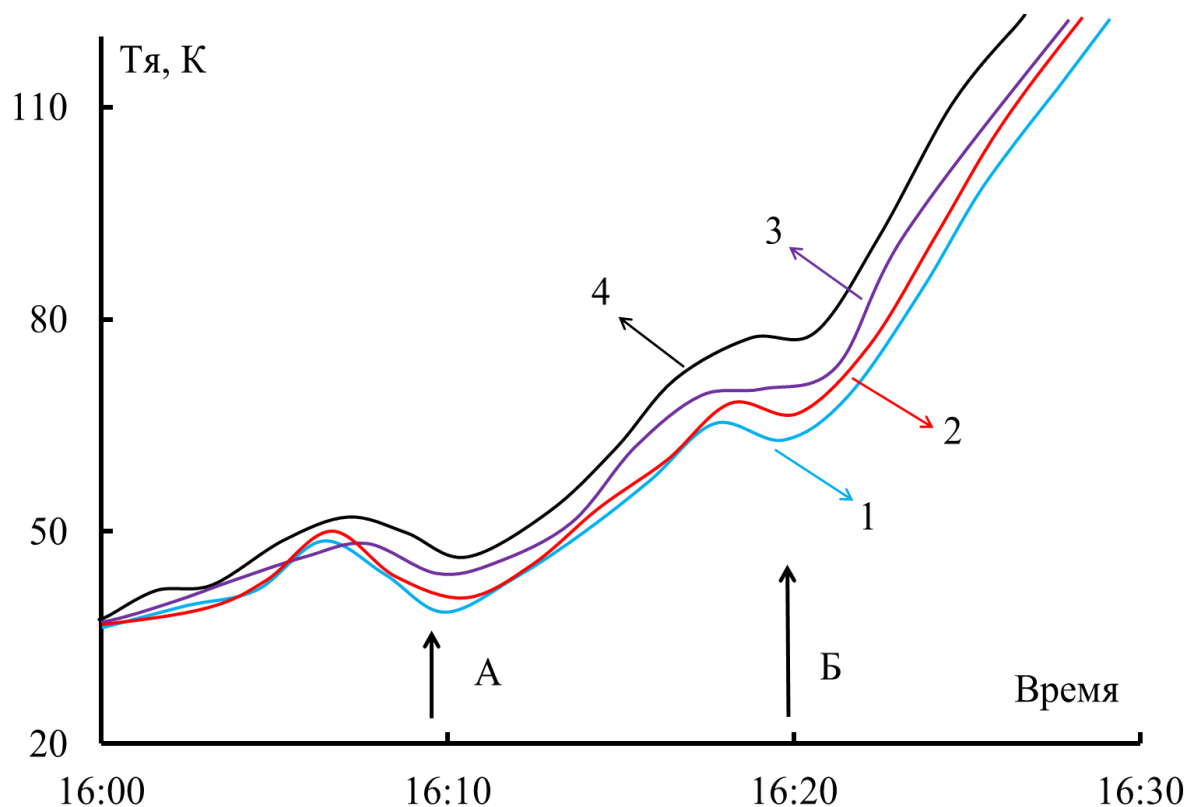


Рисунок 2. Изменение радиояростной (1 – «ГП», 2 – « $+45^{\circ}$ », 3 – « -45° », 4 – «ВП») температуры образца льда со временем. Стрелками отмечены области «просветления» льда

В начальный момент времени (16:00) температура льда была равной $-0,5^{\circ}\text{C}$ на глубине 5 см от поверхности. При повышении температуры льда должно быть некоторое повышение радиояростной температуры, что связывается с увеличением значений диэлектрической проницаемости пресного льда (в начале деструкции образца увеличивается концентрация жидких включений в нем). Как видно из приведенных графиков, в некоторые моменты времени наблюдается большее уменьшение $T_{я}$, что на рисунке 2 отмечено стрелками. Стоит отметить, что тепловое излучение на различных поляризациях отличается. В плоскостях поляризаций под углами « $+45^{\circ}$ » и « -45° » радиояростная температура почти не различается, что говорит о том, что в таких плоскостях изменения диэлектрических характеристик происходит практически одинаково, хотя есть небольшие отличия. Отклик микроволнового излучения при эффекте «просветление» при первом понижении $T_{я}$, отмеченный стрелкой «А» на горизонтальной поляризации, имеет

большее значение и составляет $\Delta T_{\text{гп}}=12$ К, по сравнению с $\Delta T_{\text{вп}}=10$ К, где разность между радиояркими температурами для одной поляризации определялась между максимумом перед эффектом «просветления» и минимумом $T_{\text{я}}$.

Ранее в работе [10] отмечалось, что при различной ориентации вектора электрического излучения в микроволновом диапазоне относительно базисных плоскостей кристаллов льда, наблюдается различие в диэлектрических характеристиках. Оно может достигать 15%. В настоящей же работе наблюдали, что до достижения температуры фазового перехода, собственное тепловое излучение образца льда имело отличие радиояркой температуры при различных поляризациях менее 2 %. При приближении температуры исследуемого образца к температуре плавления, наблюдаются заметно большие различия в $T_{\text{я}}$ для исследуемых поляризаций. Данный факт свидетельствует о том, что в базисных плоскостях кристаллов льда и плоскостях перпендикулярно им эффект «просветления» протекает по разному. Он отличается величиной уменьшения диэлектрических потерь относительно базисным плоскостям кристаллов льда.

Анизотропия потерь в природном ледяном покрове в микроволновом диапазоне ранее рассматривалась для соленого водоема, например, в работе [11] при просвечивании ледяного покрова содового водоема с минерализацией льда ~ 3 г/кг. Микроволновый дихроизм льда содового озера напоминает такой же эффект, что и для морского льда. Предполагается, что эффект связан с повышенной проводимостью поверхностного слоя вытянутых капсул из-за появления неавтономных фаз на границах сред. Однако, по мнению авторов [11], указанный эффект может быть и связан с ориентированным расположением кристаллов льда. Таким образом, явление «просветления» льда может проявляться не только при радиометрических и радиолокационных измерениях ледяных покровов, но и при радиопросвечивании ледников.

Выводы

В работе показаны поляризационные особенности собственного теплового излучения льда на частоте 34 ГГц. Выявлены различия в радиояркой температуре при различном расположении вектора напряженности электрического поля относительно базисных плоскостей кристаллов льда. Установлено, что при его параллельном расположении уменьшение значения радиояркой температуры льда составляет на 20% больше, чем при его перпендикулярном расположении.

Полученные результаты будут полезны в задачах дистанционного зондирования ледяных покровов в микроволновом диапазоне. Особенно для пресного льда, когда кристаллы льда в поликристаллическом льду имеют размеры сопоставимые с длиной волны

Список литературы

1. Тихонов В.В. Анализ изменений ледяного покрова пресноводных водоемов по данным SMOS / В.В. Тихонов, И.В. Хвостов, А.Н. Романов, Е.А. Шарков // Исследование Земли из космоса. 2017. – №6. – С. 46-53. DOI 10.7868/S0205961417060045.
2. Даркин Д.В. Спектры коэффициентов излучения молодого льда в микроволновом диапазоне по данным измерений со спутника AQUA (на примере Охотского и Японского морей) / Д.В. Даркин, Л.М. Митник, М.Л. Митник // Исследование Земли из космоса. 2008. – № 1. – С. 3-14.
3. Бордонский Г.С. "Просветление" льда в микроволновом диапазоне при текучести / Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, С.Д. Крылов // Письма в Журнал технической физики. 2009. – Т. 35. – № 22. – С. 46-54.
4. Бордонский Г.С. Электромагнитные потери пресного льда в микроволновом диапазоне при 0°C / Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, С.Д. Крылов // Радиотехника и электроника. 2014. – Т. 59. – № 6. – С. 587. DOI 10.7868/S0033849414060060.
5. Бордонский Г.С. Экспериментальное обнаружение просветления пресного льда в оптическом диапазоне вблизи 0°C / Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, В.А. Казанцев, Д.В. Середин // Оптика и спектроскопия. 2023. – Т. 131. – № 10. – С. 1374-1379. DOI 10.61011/OS.2023.10.56889.5302-23.
6. Бордонский Г.С. Возможный механизм просветления льда в микроволновом диапазоне вблизи 0°C / Г.С. Бордонский // ПЖТФ. 2024. – Т. 50. – №9. – С.35-38. DOI: 10.61011/PJTF.2024.09.57567.19587.
7. Казанцев В.А. Особенности диэлектрических характеристик свежеснежного снега на частоте 5,6 ГГц вблизи температуры фазового перехода лед-вода / В.А. Казанцев, А.К. Козлов // Материалы 21-й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса", Москва, 13–17 ноября 2023 г. [сб. докл.] – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2023. – С. 285.
8. Wiltshire B. Robust and sensitive frost and ice detection via planar microwave resonator sensor / B. Wiltshire, K. Mirshahidi, K. Golovin, M.H. Zarifi // Sensors and Actuators, B: Chemical. 2019. 126881. DOI:10.1016/j.snb.2019.126881
9. Тихонов В. В. Анализ сезонной зависимости яркостной температуры ледового щита Антарктиды по микроволновым спутниковым данным / В.В. Тихонов, М.Д. Раев, И.В. Хвостов, Д.А. Боярский, А.Н. Романов, Е.А. Шарков, Н.Ю. Комарова // Исследование Земли из космоса. 2019. – № 1. – С. 14-28. DOI 10.31857/S0205-96142019114-28.
10. Fujita S. Densification of layered firn in the ice sheet at Dome Fuji / S. Fujita, K. Goto-Azuma, M. Hirabayashi, A. Hori, Y. Iizuka, Y. Motizuki, H. Motoyama, K. Takahashi // Antarctica. Journal of Glaciology. 2016. – Vol. 62, – № 231, P. 103–123. DOI: 10.1017/jog.2016.16.
11. Бордонский Г.С. Анизотропия микроволнового затухания в ледяном покрове содового озера / Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, С.Д. Крылов, П.Ю. Лукьянов, А.О. Орлов, С.В. Цыренжапов // Радиотехнические и телекоммуникационные системы. 2012. – Т. 3. – № 7. – С. 39-44.

Программное обеспечение для вычисления зависимости амплитуды вариаций ПЭС от угла между лучом спутник-приёмник и направлением магнитного поля Земли

Клюсилов А.В.

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

В настоящее время активное развитие получают глобальные навигационные спутниковые системы (далее – ГНСС) американская – GPS и российская – ГЛОНАСС, предназначенные для определения местоположения пользователя, регистрируя сигналы навигационных спутников. Уже много лет измерения полного электронного содержания (далее – ПЭС) с помощью ГНСС является одним из главных источников информации о возмущениях в ионосфере. На формирование и регистрацию ионосферных неоднородностей существенное влияние оказывает магнитное поле Земли. В данной работе будет представлено разработанное программное обеспечение для вычисления зависимости амплитуды вариаций ПЭС от угла между лучом спутник-приёмник и направлением магнитного поля Земли.

Введение

Возмущения, вызванные как естественными, так и искусственными причинами изучаются многочисленными научными группами по всему миру. Одним из направлений является изучение отклика ионосферы на запуски ракет-носителей [1-3]. Запуски сверхтяжёлых ракет-носителей Falcon Heavy в 2018-2019 годах являются интересными с точки зрения влияния на ПЭС и генерации ионосферных неоднородностей. Для проверки работы программы будут использоваться данные с первого запуска Falcon Heavy 6 февраля 2018 года.

Для реализации разработки программного обеспечения использовался высокоуровневый язык программирования Python. Для этого, потребовались различные входные данные, которые были получены программой ViewTecs (разработано в ИСЗФ СО РАН). Необходимы следующие входные данные: широта и долгота ионосферной точки; широта и долгота наземной приёмной станции, высота над уровнем моря; дата события. Далее будет подробно рассказано, каким образом считываются необходимые данные.

1) Широта и долгота ионосферной точки: Для считывания данных со станций и их спутников была создана входящая папка с названием «in», и в Python прописан путь к расположению данной папки.

В папке «in» создана следующая структура каталогов:

in\YYYY\ZZZ\rove\, где YYYY – номер года; ZZZ – номер дня; rove – название станции. Количество станций, а, следовательно, и количество каталогов для разных сетей / экспериментов, будет различно. В каждом таком каталоге содержатся файлы, имя которых имеет формат roveGXX_ZZZ.dat,

где: pove – название станции; G – система (G – GPS, R – ГЛОНАСС, E – Galileo и т.д.); XX – номер спутника (точнее PRN); ZZZ – порядковый номер дня в году (меняется в пределах 1-365 в обычный год и 1-366 в високосный).

Широта (latp) и долгота (lonp) считываются с директории: in\YYYY\ZZZ\ название станции (в данном случае pove)\poveG01_037.dat.

В файле poveG01_037.dat широта считывается с 4 столбца, долгота с 5 столбца (рис. 1).

Примечание:* В языке программирования Python индексация массивов, списков и других последовательностей начинается с 0. Это означает, что первый элемент имеет индекс 0, второй элемент имеет индекс 1 и т.д.

```
# hmax = 200
# Parameter to filter: tec1112
# Filter type: Butterworth band pass filter
# FilterWindow = 4 : 10 minutes
# Time Range = 0.000 : 24.000
# Coords of source = ( 28.00 N, 283.00 E)
# Minimum duration of series = 40 minutes
# critlon = 1
# c_vertTEC = 2
# c_vertVar = 0
# time step = 15
# secn, time, gamma, az, latp, lonp, tec, tec_filtered, envelope, Dist2Source, DirFromSource, validity
0 0.0000 70.28383 173.32533 -9.3289 296.1771 7.41535 0.03482 0.03482 4523.8 159.3 57376
```

Рисунок 1. Считывание широты и долготы с файла poveG01_037

Широта и долгота ионосферной точки (табл. 1(слева)) известны в градусах.

Чтобы выполнить перевод градусов в радианы, нужно воспользоваться следующей формулой (1):

$$n^{\circ} = \frac{n \cdot \pi}{180^{\circ}} \quad (1)$$

где n° – угол в градусах, n – угол в радианах.

После вычисления получим широту и долготу для ионосферной точки в радианах (табл. 1 (справа)).

Таблица 1

Широта и долгота ионосферной точки в градусах и радианах

Координаты ионосферной точки в градусах		Координаты ионосферной точки в радианах	
Latp (Широта)	Lonp (Долгота)	Latp (Широта)	Lonp (Долгота)
-9.3289	296.1771	-0.16282002	5.16926556

2) Высота над уровнем моря:

Высота ионосферной точки над уровнем моря прописывается отдельной переменной в Python, т.к. данная величина постоянная, например $h = 200$ км.

3) Дата события:

Дату события необходимо ввести при запуске программы. Появится специальное диалоговое окно: Enter date in format (Введите дату в формате)

YYYY-MM-DD, где YYYY – год, MM – месяц, DD – день. Например, 2018-02-06.

Вычисление векторов магнитного поля Земли и лучом спутник-приёмник

Для вычисления угла между магнитным полем Земли и лучом спутник-приёмник необходимо вычислить два вектора:

Вектор луча спутник-приёмник (Ray): Представляет направление линии, соединяющей приёмник и ионосферную точку; Вектор магнитного поля (bv):

Представляет направление и величину магнитного поля в точке измерения.

Вектор луча спутник-приёмник

В географии используется сферическая система координат, определяющая широту φ , долготу λ и высоту h над уровнем Мирового океана.

Преобразование сферических координат в декартовы координаты

Преобразование сферических координат в декартовы координаты необходимо для того, чтобы определить положение точки в трёхмерном пространстве с использованием декартовых координат (x, y, z), учитывая её положение в сферических координатах (широта φ , долгота λ и радиус r).

Далее, необходимо вычислить единичный вектор **satv** для ионосферной точки, этот вектор представляет собой направление от центра Земли к ионосферной точке.

Положение единичного вектора satv в декартовой системе координат:

$$\begin{aligned} \text{satv}_x &= \cos \varphi \cdot \cos \lambda \\ \text{satv}_y &= \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ \text{satv}_z &= \sin \varphi \end{aligned} \quad (2)$$

В целом, вектор **satv** является единичным вектором, указывающим из начала координат в направление ионосферной точки, определяемой входными координатами широты и долготы (в радианах) ионосферной точки.

Вычисление радиус-вектора ионосферной точки

Радиус - вектор ионосферной точки (ionpg) вычисляется по формуле (3) путём умножения единичного вектора, указывающего от центра Земли к ионосферной точке (satv) на сумму (Rzh) среднего радиуса Земли (Rz) с высотой ионосферной точки (h):

$$\begin{aligned} \text{ionpg} &= \text{satv} \cdot Rzh, \\ \text{где } Rzh &= Rz + h = 6571.3 \text{ км;} \\ Rz &= 6371.3 \text{ км;} h = 200 \text{ км} \end{aligned} \quad (3)$$

Следовательно, для x, y, z будет можно вычислить (4):

$$\begin{aligned} \text{ionpg}_x &= \text{satv}_x \cdot Rzh \\ \text{ionpg}_y &= \text{satv}_y \cdot Rzh \\ \text{ionpg}_z &= \text{satv}_z \cdot Rzh \end{aligned} \quad (4)$$

Считывание долготы и широты с наземной приёмной станции

Считывание данных с наземной приёмной станции происходит с директории: in\YYYY\ZZZ\sites.dat.

В файле sites.dat широта считывается с 0 столбца, долгота с 1 столбца (рис. 2).

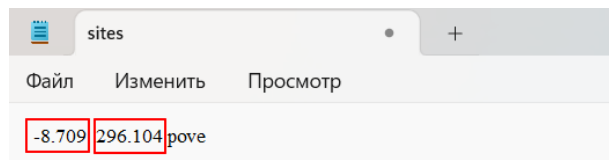


Рисунок 2. Считывание широты и долготы со станции с файла sites.dat

Широта и долгота наземной приёмной станции известны в градусах (табл. 2 (слева)). Необходимо перевести в другую единицу измерения – радианы. Чтобы перевести градусы в радианы, нужно воспользоваться формулой (1). После вычисления получим широту и долготу для наземной приёмной станции в радианах (табл. 2 (справа)).

Таблица 2

Широта и долгота станции в градусах и радианах

Координаты станции в градусах		Координаты станции в радианах	
Lat (Широта)	Lon (Долгота)	Lat (Широта)	Lon (Долгота)
-8.709	296.104	-0.15200072	5.16798973

Преобразование сферических координат наземной приёмной станции в геоцентрическую систему координат (5):

$$\begin{aligned}
 stationpg_x &= \cos \varphi \cdot \cos \lambda \cdot R_z \\
 stationpg_y &= \cos \varphi \cdot \sin \lambda \cdot R_z \\
 stationpg_z &= \sin \varphi \cdot R_z
 \end{aligned}
 \quad (5)$$

Вычисление вектора от станции к ионосферной точке

Расчёт вектора от станции к ионосферной точке требует использования геодезических координат станции и координат точки в ионосфере. Для этого понадобится знать широту, долготу станции, а также широту, долготу и высоту точки в ионосфере. Используя эти данные, можно вычислить разность координат для получения компонентов вектора (6):

$$\begin{aligned}
 ray_x &= ionpg_x - stationpg_x \\
 ray_y &= ionpg_y - stationpg_y \\
 ray_z &= ionpg_z - stationpg_z
 \end{aligned}
 \quad (6)$$

Вычисление компонентов магнитного поля Земли

Зная координаты ионосферной точки (широту и долготу (в радианах), высоту над уровнем моря и время события) с помощью модели магнитного поля IGRF-13 [4] можно вычислить компоненты магнитного поля Земли: D (DEC) – Geomagnetic Declination (Геомагнитное склонение); I (DIP) – Geomagnetic Inclination (Геомагнитный наклон); H – Horizontal Intensity (Горизонтальная интенсивность); X – North Intensity (Северная интенсивность); Y – East Intensity (Восточная интенсивность); Z – Vertical

Intensity (Вертикальная интенсивность); F – Total Intensity (Общая интенсивность).

Для ионосферной точки вычисленные компоненты представлены в таблице 5.

Таблица 5

Компоненты магнитного поля Земли, рассчитанные
с помощью модели IGRF-13

D (DEC)	I (DIP)	H	X	Y	Z	F
-12.339	-1.046	22390.389	21873.173	-4784.749	-408.841	22394.122

Вычисление вектора магнитного поля (bv)

Вектор магнитного поля Земли (bv) для ионосферной точки создаётся на основе значений северной интенсивности (X), восточной интенсивности (Y) и вертикальной интенсивности (Z), а также единичного вектора (satv) направления на спутник и долготы ионосферной точки (λ).

Преобразование топоцентрических координат в геоцентрические координаты:

Необходимо преобразовать по системе уравнений (7) вектора магнитного поля Земли из топоцентрических координат (X, Y, Z) в геоцентрические координаты (bv_x, bv_y, bv_z).

$$\begin{cases} bv_x = -X \cdot \cos \lambda \cdot satvz - Y \cdot \sin \lambda + Z \cdot satvx \\ bv_y = -X \cdot \sin \lambda \cdot satvz + Y \cdot \cos \lambda + Z \cdot satvy \\ bv_z = X \cdot (\sin \lambda \cdot satvy + \cos \lambda \cdot satvx) + Z \cdot satvz \end{cases} \quad (7)$$

Вычисление угла между магнитным полем Земли и лучом спутник-приёмник

Формула для расчёта угла между магнитным полем Земли и лучом спутник-приёмник (8):

$$\alpha = \arccos \frac{bv_x \cdot ray_x + bv_y \cdot ray_y + bv_z \cdot ray_z}{\sqrt{bv_x^2 + bv_y^2 + bv_z^2} \cdot \sqrt{ray_x^2 + ray_y^2 + ray_z^2}} \quad (8)$$

Чтобы перевести радианы в градусы, нужно воспользоваться следующей формулой (9):

$$n = \frac{n^\circ \cdot 180^\circ}{\pi}, \quad (9)$$

где n – угол в радианах, n° – угол в градусах.

Преобразование луча от станции к ионосферной точке из геоцентрической системы в топоцентрическую систему координат

Преобразование необходимо для дальнейшего построения векторов магнитного поля Земли и лучей спутник-приёмник на карте.

Пусть D будет определителем матрицы системы (10):

$$D = (\cos \lambda \cdot satvx + \sin \lambda \cdot satvy)^2 + satvz^2 \quad (10)$$

После этого для X, Y, Z будет система уравнений (11):

$$\text{Vectortop} = \begin{cases} X = \frac{-\text{satvz} \cdot \cos \lambda \cdot \text{ray}_x - \text{satvz} \cdot \sin \lambda \cdot \text{ray}_y + (\text{satvx} \cdot \cos \lambda + \text{satvy} \cdot \sin \lambda) \cdot \text{ray}_z}{D} \\ Y = \frac{(\text{satvz} \cdot (-\sin \lambda \cdot \text{satvz}) - (\sin \lambda \cdot \text{satvy} + \cos \lambda \cdot \text{satvx}) \cdot \text{satvy}) \cdot \text{ray}_x + (\text{satvx} \cdot (\sin \lambda \cdot \text{satvy} + \cos \lambda \cdot \text{satvx}) + \cos \lambda \cdot \text{satvz}^2) \cdot \text{ray}_y + (-\cos \lambda \cdot \text{satvz} \cdot \text{satvy} + \text{satvx} \cdot \sin \lambda \cdot \text{satvz}) \cdot \text{ray}_z}{D} \\ Z = \frac{\cos \lambda \cdot (\sin \lambda \cdot \text{satvy} + \cos \lambda \cdot \text{satvx}) \cdot \text{ray}_x + \sin \lambda \cdot (\sin \lambda \cdot \text{satvy} + \cos \lambda \cdot \text{satvx}) \cdot \text{ray}_y + \text{satvz} \cdot \text{ray}_z}{D} \end{cases} \quad (11)$$

Преобразование луча от станции к ионосферной точке из топоцентрической системы координат в простую цилиндрическую проекцию

Преобразование необходимо для дальнейшего построения векторов магнитного поля Земли и лучей спутник-приёмник на карте.

Формулы (12, 13) для преобразования из топоцентрической системы координат в простую цилиндрическую проекцию:

$$v_x = \frac{Y}{\cos \varphi} \quad (12)$$

$$v_y = X \quad (13)$$

где v_x – проекция вектора по горизонтали; v_y – проекция вектора по вертикали; Y – проекция вектора на восток; X – проекция вектора на север.

После этого, с помощью Python происходит построение на карте ионосферной точки и станции, а также отображение интенсивности угла между магнитным полем Земли и лучом спутник-приёмник (рис. 3 (а)). Для наглядности, можно построить для всех ионосферных точек для станции rove и спутника G01 (рис. 3 (б)). Все карты будут построены в папку «output_images».

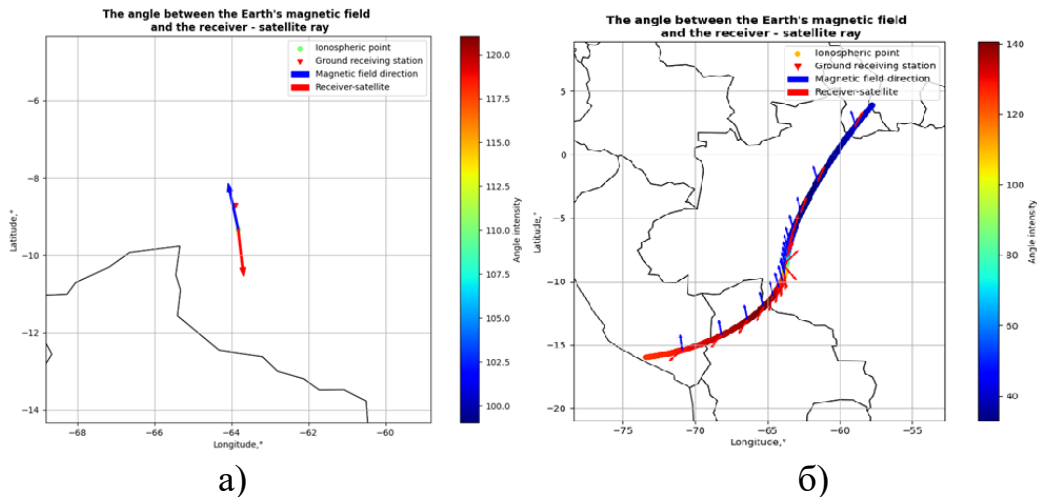


Рисунок 3. Построение на карте ионосферной точки и станции и отображение интенсивности угла между магнитным полем Земли и лучом спутник-приёмник (3 (а)): зелёная точка – отображение ионосферной точки; красный треугольник – отображение станции; синий цвет – вектор магнитного

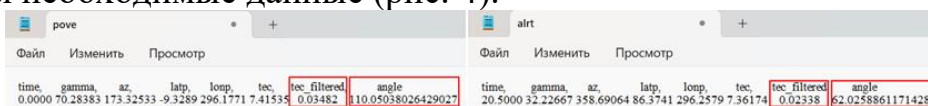
поля Земли; красный цвет – луч спутник-приёмник. На рис. 3 (б) построено для всех ионосферных точек для станции rove спутника G01

Вторым программным обеспечением является программа для вычисления зависимости амплитуды вариаций ПЭС от угла между лучом спутник-приёмник и направлением магнитного поля в среде Python необходимы следующие входные данные: `tec_filtered` – полное электронное содержание после выполнения полосовой фильтрации Баттерворта; `angle` – угол между магнитным полем Земли и лучом спутник-приёмник.

Для примера работы программы возьмём одну ионосферную точку спутника G01 для станции rove (ионосферная точка, которую брали выше для реализации программы) и для наглядности возьмём ещё одну ионосферную точку для другой станции, например, для станции alrt спутника G02 (для этого необходимо запустить ещё раз программу выше, чтобы записались необходимые данные).

В предыдущей программе, описанной выше, данные записывались на выходе в папку с названием «out». В папке «out» создана следующая структура каталогов: `out\YYYY\ZZZ\name_station.txt`, где `YYYY` – номер года; `ZZZ` – номер дня; `name_station` – название станции, например rove.

В файл «rove.txt» записывались все данные со всех спутников станции rove. В данной программе папка «out» будет входной, откуда будут считываться необходимые данные (рис. 4).



time	gamma	az	latp	lonp	tec	tec_filtered	angle
0.0000	70.28383	173.32533	-9.3289	296.1771	7.41535	0.03482	110.05038026429027
20.5000	32.22667	358.69064	86.3741	296.2579	7.36174	0.02338	62.0258861171428

Рисунок 4. Считывание `tec_filtered` и `angle` с файла «rove» и «alrt» с папки «out»

Каждый файл будет иметь следующее название: название станции_stats.png, например, rove_stats.png. Гистограммы строятся для каждой станции в отдельности в папку с названием «out_stats» (рис. 5).

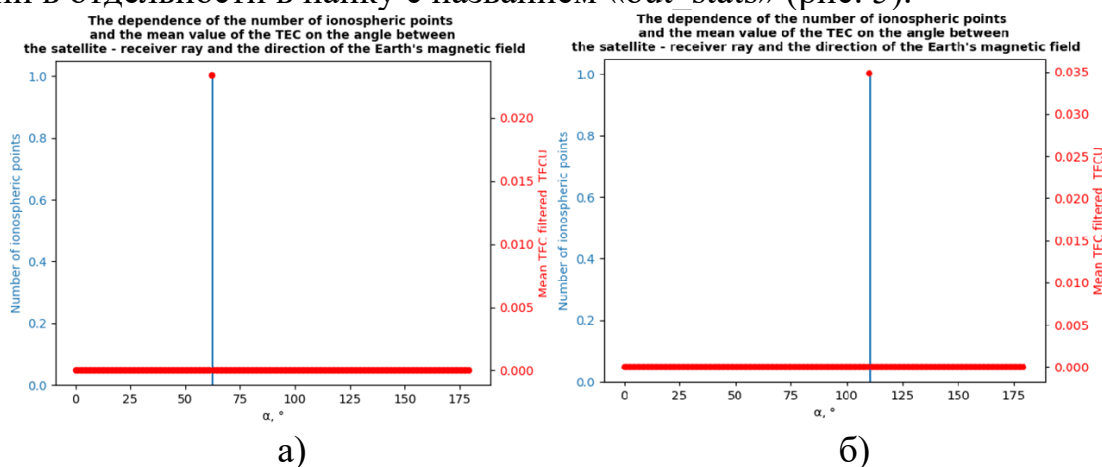


Рисунок 5. Зависимость значения ПЭС от угла между лучом спутник-приёмник и направлением магнитного поля для станции alrt (а) и rove (б). По оси X: α – угол между лучом спутник-приёмник и направлением

магнитного поля (от 0° до 180°); по оси Y: а) слева – количество ионосферных точек; б) справа – средний TEC_filtered

Для получения статистики для каждой станции и её спутников необходимо построить отдельную гистограмму (рис. 6):

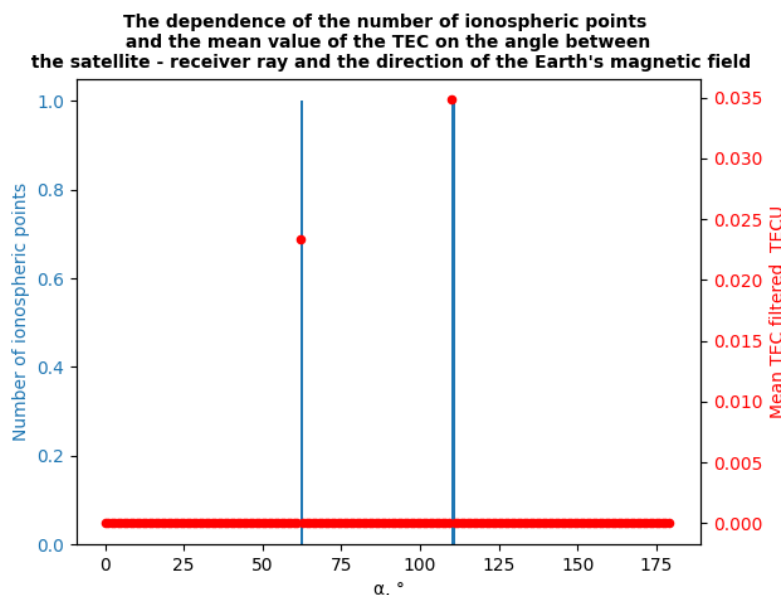


Рисунок 6. Зависимость значения ПЭС от угла между лучом спутник-приёмник и направлением магнитного поля для станции alrt и rove

Заключение

Разработанное программное обеспечение будет использоваться для исследования влияния магнитного поля Земли на возникновение и регистрацию ионосферных эффектов, вызванными различными локальными событиями. Тестирование показало, что разработанное программное обеспечение достойно справляется с большим количеством данных.

Список литературы

1. Afraimovich E.L., Kosogorov E.A., Perevalova N.P., Plotnikov A.V. The use of GPS arrays in detecting shockacoustic waves generated during rocket launchings // J. of atm. and solar-terrestrial phys. 2001. V.63. №18. P. 1941-1957.
2. Chou, M.-Y., Shen, M.-H., Lin, C. C. H., Yue, J., Chen, C.-H., Liu, J.-Y., & Lin, J.-T. (2018). Gigantic circular shock acoustic waves in the ionosphere triggered by the launch of FORMOSAT-5 satellite. Space Weather, 16, 172–184. <https://doi.org/10.1002/2017SW001738>.
3. Chou M.-Y., Lin C. C. H., Shen M.-H., Yue J., Huba J. D., Chen C.-H.. Ionospheric Disturbances Triggered by SpaceX Falcon Heavy // Geophysical Research Letters. 2018. 45(13). 6334–6342. doi:10.1029/2018gl078088.
4. IGRF [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ccmc.gsfc.nasa.gov/models/IGRF~13/>, свободный. – Загл. с экрана (дата обращения: 13.05.2024).

Теоретические основы исследования теплового излучения пресного ледяного покрова малых толщин

Козлов А.К.

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

aleksej.kozlov.97@mail.ru

В работе представлены результаты расчёта радиояркостной температуры на длине волны 0,88 см плоскостойкого пресного ледяного покрова (минерализация 3 мг/кг), имеющего относительно небольшие толщины (до 10 см). Расчеты выполнены для углов близких к надиру (до 20°). Показано, что при небольших вариациях углов наблюдения, ошибка измерений радиояркостной температуры при толщинах льда до 6 см, лежащего на водной поверхности, может достигать нескольких десятков Кельвинов. Данные расчеты будут полезными при измерениях мощности радиотеплового излучения тонких ледяных покровов с использованием БПЛА, на котором установлен микроволновый радиометр, принимающий собственное тепловое излучение для углов близких к надиру.

Введение

Активное использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при дистанционных исследованиях в микроволновом диапазоне позволяет оперативно и своевременно определить собственное тепловое излучение исследуемой территории, в том числе и при температурах среды ниже температуры фазового перехода вода-лед. Так для нужд сельского хозяйства в работе [1] с использованием микроволнового радиометра на длине волны 21 см, установленного на БПЛА (квадрокоптер), производилось зондирование поверхности почвы для установления влияния растительного покрова на результаты дистанционного определения влажности почвы искусственными спутниками из космоса.

В зимнее время года при исследовании криосферных образований дистанционными методами в микроволновом диапазоне можно решать ряд задач, которые невозможно решить в других частотных диапазонах. Слой формирующего излучения для пресного льда в сантиметровом диапазоне может достигать нескольких метров. По этой причине все неоднородности, которые расположены в данной среде, хорошо фиксируются методами радиометрии и радиолокации [2, 3].

При радиометрических исследованиях с использованием искусственных спутников Земли разрешающая способность космического изображения составляет несколько километров на пиксель. По этой причине целесообразно устанавливать радиометрические приемники на летательные и наземные средства передвижения. Преимущество летательных аппаратов перед наземными носителями при измерениях имеет место для труднодоступных мест, в частности, ледников, тонкого льда, труднопроходимого

снежного покрова. Относительно недорогим способом радиометрии является использование приемной аппаратуры на БПЛА.

Целесообразно зондировать криосферные образования под углом близкому к надиру. Однако под действием внешних факторов (ветровое воздействие и т. д.) ось антенны может отклоняться до 20° от надира. Цель данной работы - рассмотреть данный вопрос для тонкого пресного ледяного покрова.

Теоретическое моделирование исследуемого объекта

При расчетах радиояркостной температуры (T_j), характеризующей мощность теплового излучения ледяного покрова, использовалась модель на основе плоскостойкой неизотермической среды [4], схема которой представлена на рисунке 1.

Расчеты выполнены на частоте 34 ГГц при полосе пропускания радиометра 600 МГц на горизонтальной и вертикальной поляризации. Угол зондирования изменяли от 0° до 20° от нормали к ледяной поверхности.

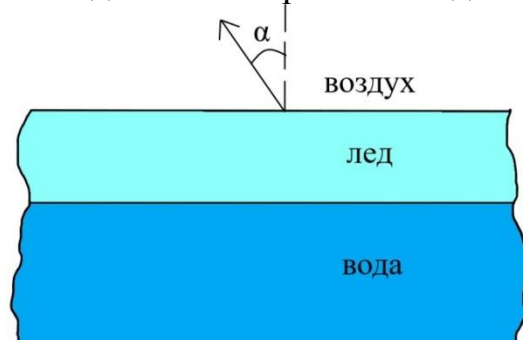


Рисунок 1. Плоскостойкая неизотермическая структура

В модели использовались следующие параметры. Температура ледяного покрова -2°C , температура воды $+1^\circ\text{C}$. Угол раскрытия диаграммы направленности антенны принимался равным 10° . Минерализация льда - 3 мг/кг, так как в ледяной покров в момент его становления захватываются малые концентрации солей. Натурные измерения по минерализации льда для пресных водоемов соответствует приблизительно такой величине. Однако это зависит от скорости образования данного криосферного образования и минерализации воды.

На значения T_j влияют диэлектрические характеристики излучаемой среды. Мнимая и действительная части комплексной относительной диэлектрической проницаемости для воды определялась по формулам из работы [5]. Для льда – использовалась работа [6].

На рисунке 2 представлены некоторые результаты полученных вариаций радиояркостной температуры на углах наблюдения 0° , 10° и 20° в зависимости от толщины ледяного покрова для горизонтальной поляризации.

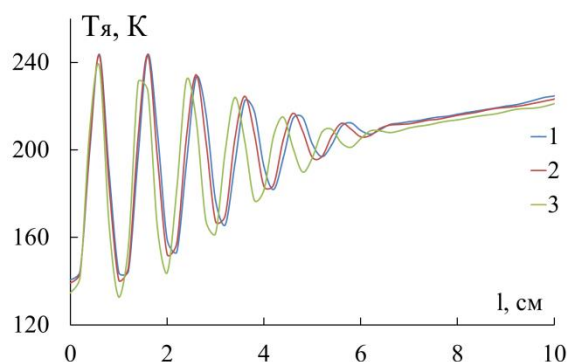


Рисунок 2. Изменения радиояркой температуры ($T_{\text{я}}$) на разных углах наблюдения в зависимости от толщины ледяного покрова. Для углов наблюдения: 1 – 0° , 2 – 10° , 3 – 20° .

Как видно из приведенных графиков, при увеличении толщины ледяного покрова наблюдаются вариации $T_{\text{я}}$, связанные с интерференцией электромагнитного излучения от верхней и нижней границ ледяного покрова. Данный эффект описан в работе [7]. При увеличении толщины уменьшается амплитуда колебаний. При толщинах больше 6 см вариации радиотеплового излучения на частоте 34 ГГц и полосе 600 МГц при минерализации 3 мг/кг практически прекращаются. С увеличением минерализации они прекратятся при меньших толщинах ледяного покрова, и, наоборот, при уменьшении минерализации льда.

При увеличении угла наблюдения интерференционная картина радиотеплового излучения смещается в сторону уменьшения толщин льда. В результате этого для одной и той же толщины льда будут наблюдаться существенные отличия в значении $T_{\text{я}}$ в зависимости от угла наблюдения. Так на рисунке 3 приведена разность значений радиояркой температуры ($\Delta T_{\text{я}} = T_{\text{я}}(20^\circ) - T_{\text{я}}(10^\circ)$), рассчитанных для углов наблюдения 20° и 10° .

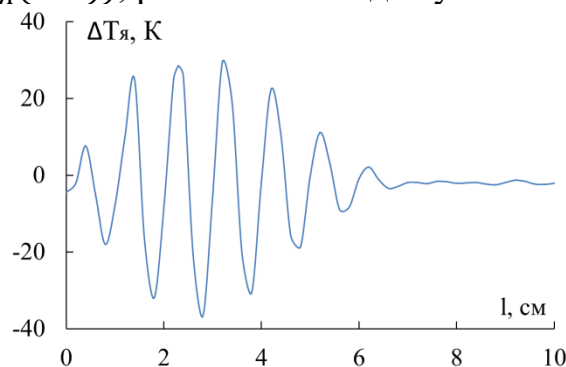


Рисунок 3. Разность радиояркой температуры ледяного покрова для углов наблюдения 20° и 10° для частоты 34 ГГц в зависимости от толщины ледяного покрова

Разброс значений $\Delta T_{\text{я}}$ для исследуемой структуры достигает порядка 30 К от среднего значения $T_{\text{я}}$. При толщинах ледяного покрова более 6 см

вариации ΔT_y отсутствуют. При исследовании радиотеплового излучения на вертикальной поляризации наблюдается аналогичный эффект.

Заключение

Таким образом, при использовании БПЛА, с установленным на нем радиометрическим комплексом, принимающим собственное радиотепловое излучение в микроволновом диапазоне, для исследования тонкого ледяного покрова необходимо учитывать вариации угла наблюдения. Даже небольшие отклонения данной величины приводят к существенному изменению полученного результата, что может привести к ошибке интерпретации измерений толщины для ледяного покрова. Поэтому на радиометр, который будет установлен на БПЛА, необходимо вводить дополнительный параметр измерения – угол наклона с точностью $0,1^\circ$. Для толщин пресного ледяного покрова более 10 см измерять эту величину не обязательно.

Благодарности

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-27-00278)

Список литературы

1. Новичихин Е.П. Эвристический и прикладной потенциал совмещения микроволнового влажностно-температурного зондирования почвы и фотосъемки в фациально-дифференцированных агрогеосистемах / Е.П. Новичихин, Н.Ф. Хохлов, А.Г. Болотов [и др.] // Журнал радиоэлектроники. 2022. – № 11.
2. Тихонов В.В. Межгодовые вариации собственного микроволнового излучения Обской губы в период ледостава и их связь с гидрологическими и климатическими изменениями региона / В.В. Тихонов, А.Н. Романов, И.В. Хвостов [и др.] // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. – Т. 18, № 6. – С. 185–199.
3. Бордонский Г.С. Различие картин радарных и радиометрических измерений (на примере ледяного покрова эвтрофированного озера) / Г.С. Бордонский, А.А. Гурулев, А.О. Орлов, С.В. Цыренжапов // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2014. – Т. 11, № 2. – С. 228–240.
4. Клепиков И.Н. Теоретические исследования собственного излучения резконеоднородных неизотермических сред / И.Н. Клепиков, Е.А Шарков // Исследование Земли из космоса. 1992. – № 6. – С. 3–15.
5. Meissner T. The complex dielectric constant of pure and sea water from microwave satellite observations / T. Meissner, F.J. Wentz // IEEE Trans. Geosci. Rem. Sens. 2004. – Vol. 42, issue 9. – P. 1836–1849.
6. Бордонский Г.С. Электромагнитное излучение криогенных природных сред. Диссертация на соискание ученой степени д.ф.-м.н. – Чита. 1994. – 322 с.
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.

Разработка программы для устройства автоматизации системы радиофикации на базе Arduino UNO

Лапин А.А.¹, Дмитриев А.А.²

1 – Иркутский авиационный завод – филиал ПАО «Яковлев», Иркутск, Россия

2 – Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

lapin_aa@iaz.yakovlev.ru, dmtaa77fti@mail.ru

На одном из предприятий г. Иркутска, для запуска системы радиофикации в определенное время, дежурному необходимо, на пульте управления (ПУ) включать трансляцию (радио, гудок) в отдельном помещении (не на своем рабочем месте). Данная работа в течение дня отвлекает дежурного от основной работы. В статье произведен подбор оборудования для осуществления запуска ситуаций без участия оператора, на основе подобранного оборудования написана программа для автоматизированного запуска по времени с синхронизацией по NTP. Так же произведен обзор написанной программы со стороны разработчика и пользователя. Представленное решение может быть использовано не только на предприятии, но и в других отраслях, где необходима «жесткая» привязка по времени.

Введение

Процедура запуска различных ситуаций в течение дня отвлекает дежурного от основной работы (прием заявок, выдача ключей, мониторинг различных систем, настройка АТС), что приводит в свою очередь к снижению качества выполняемой работы и вносит дополнительную погрешность в работу системы (человеческий фактор). Так же система не имеет никакой синхронизации по времени, а запуск должен осуществляться по определенному заранее расписанию. Поэтому для автоматизации системы предложено следующее – установить модуль реального времени (для сохранения времени на случай потери связи с сервером), Ethernet shield для подключения к NTP серверу, и модуль реле для запуска ситуаций на ПУ.

Описание действующей системы

Действующая схема радиофикации включает в себя: два усилительно–коммутационных блока, два коммутатора, пульт управления и FM–приемник. Система радиофикации не сопряжена с другими системам, не имеет выхода в сеть общего доступа и ЛВС предприятия. Управление системой осуществляется с помощью ПУ. Исполнительными устройствами являются усилительно–коммутационные блоки, управляющим ПУ, оконечными громкоговорители, транспортными коммутаторы.

Радиоприемник не прерывно передает аналоговый сигнал на линейный вход ПУ. Пульт управления обрабатывает аналоговый сигнал, оцифровывает его и по сети ETHERNET, UDP пакетами, передает на усилители.

Усилители, принимая сигнал от ПУ преобразуют сигнал в аналоговый, усиливают и транслируют по медным линиям до абонентов. Блок схема устройства системы показана на рисунке 1.

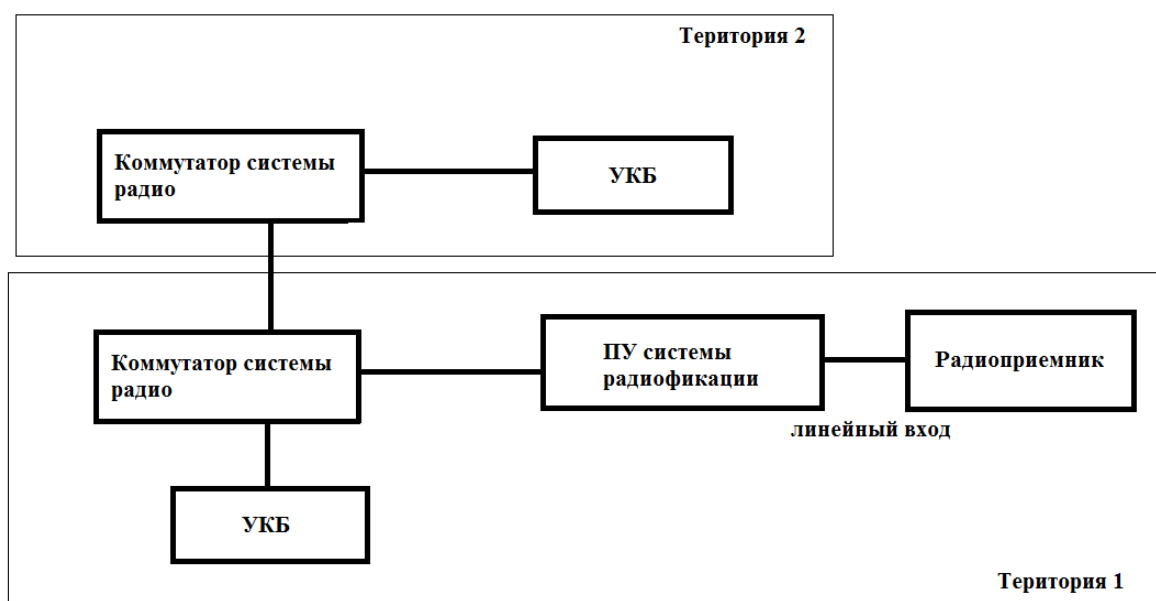


Рисунок 1 – Блок схема действующей системы

Обмен информацией между коммутаторами осуществляется по оптическим кабелям с выделенными волокнами. Для коммутации УКБ и ПУ используются медные патч-корды.

Определение цели и задач проекта

Основанием разработки устройства является полная или частичная автоматизация системы радиофикации, с минимальным отклонением времени запуска от заданного расписания, без участия оператора.

Для реализации проекта необходимо:

1. Произвести подбор компонентов для разработки проекта.
2. Разработать программу для МК.
3. Выбрать сервер для синхронизации времени и на основании этого определить и настроить точку подключения устройства в сеть.

Выбор компонентов

Для разработки устройства не предъявлялись жесткие требования к точности показаний модуля реального времени, необходимо было отработать саму программу, поэтому был выбран бюджетный модуль RTC DS1302. Точность хода времени в самом модуле не играет значительной роли, поскольку раз в минуту происходит синхронизация времени и данные перезаписываются в модуль. Используемый модуль показан на рисунке 2.[2]



Рисунок 2 – Модуль реального времени

Для управления ПУ выбрано реле KY-019 обладающее 5 В логикой с управляемым напряжением переменного тока до 250 В и максимальным током 10 А.

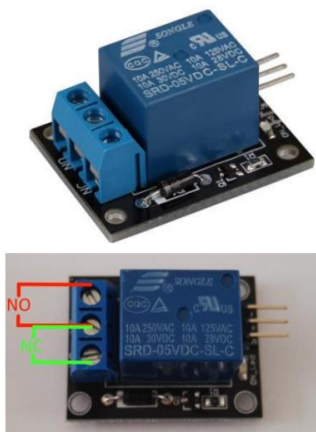


Рисунок 3 – Реле для управления нагрузкой KY-019

Для осуществления подключения к сети был выбран Ethernet Shield на базе микроконтроллера WIZnet w5100, представленный на Рисунке 3. Чтобы подключить Ethernet Shield W5100 к Arduino (UNO или MEGA), предусмотрены длинные штыревые разъемы, так же поверх W5100 можно установить другие Shields. Для хранения больших файлов на плате установлен разъем micro-SD, для установки micro-SD карт. Плата Arduino взаимодействует как с W5100, так и с SD-картой, используя шину SPI (вывода 10, 11, 12 и 13 (UNO) и 50, 51 и 52 (MEGA), на обеих платах вывод 10 используется для выбора W5100 и вывод 4 для выбора SD-карты, эти выводы нельзя использовать (это надо учесть, при проектировании). Так-как W5100 и SD-карта используют одну шину SPI, одновременно может быть активно только одно устройство. Для подключения к маршрутизатору или компьютеру,

установлен стандартный разъем RJ45. Кнопка RESET дублирует кнопку RESET на Arduino, который сбрасывает как W5100, так и плату Arduino.[1]



Рисунок 4 – Ethernet Sheild W5100

Поскольку данное устройство предполагается для использования на предприятии, где отсутствует свободный доступ в открытую сеть, нет возможности использовать WIFI или Bluetooth было принято решение использовать Ethernet. Для осуществления мониторинга и удаленного управления в дальнейшем планируется доработка в виде Web – интерфейса. Но на данном этапе основной задачей является тестирование программного кода в части точности хода времени и снижения вероятности потери текущего времени.

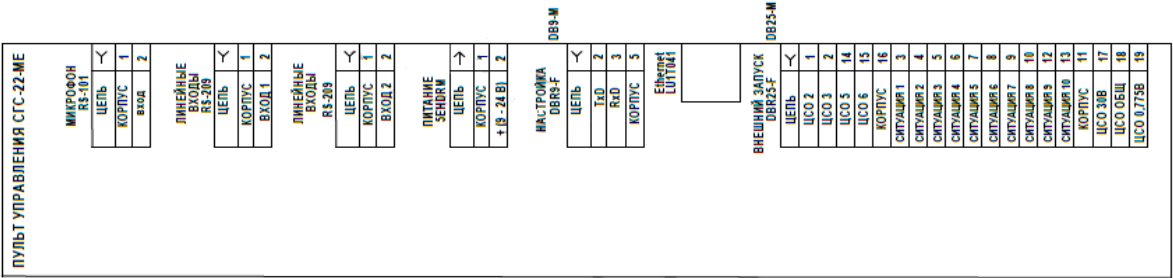


Рисунок 5 – Схема электрическая подключения ПУ

Подключение МК к пульту управления осуществляется через предусмотренный разъем DB25-М для внешнего запуска, ситуации для пульта хранятся на SD карте и прописываются в файле CFG (конфигурационный файл для ПУ). При замыкании контакта «ситуация _» с контактом «общий» происходит запуск системы. Замыкание осуществляется через управляемые реле, подключенные к МК.[3]

Алгоритм работы программы

При включении микроконтроллер (МК), опрашивает Ethernet Shield наличие подключения к сети, если подключение отсутствует, то он берет время непосредственно с RTC DS1302, и сравнивает полученные данные с заранее прописанным значениями времени. В случае совпадения полученных данных и прописанных в МК, замыкает на 1 секунду одно из реле и на ПУ происходит запуск ситуации (подача гудка или включение радио). При наличии сети перед получением времени из RTC, происходит синхронизация времени RTC на основании полученных данных от NTP сервера. На блок схеме ниже показан алгоритм программы, рисунок 6.



Рисунок 6 – Блок схема алгоритма работы программы

Так же, для контроля времени, на время тестирования принято решения, передавать полученное время с RTC на ПК через последовательный порт.

Устройство системы

При внедрении устройства автоматизации схема будет сопряжена с ЛВС предприятия для подключения к NTP серверу предприятия, блок схема автоматизированной системы показана на рисунке 7.

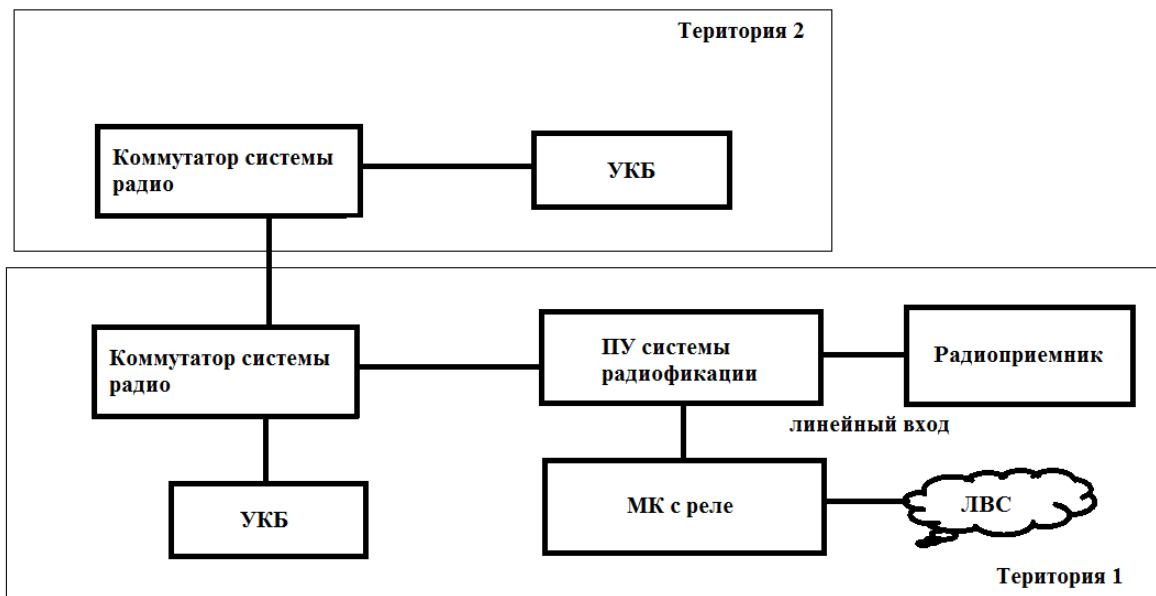


Рисунок 7 – Блок схема автоматизированной системы.

На случай нештатной ситуации, когда необходимо изменить выполняемую ситуацию (отключить отдельные линии, выключить отдельную зону), дежурный может вручную изменить ход выполнения ситуации.

Заключение

В конечном итоге, при использовании данной конфигурации, нам удалось добиться наиболее точного хода времени на модуле RTC за счет синхронизации по NTP, так же на случай отсутствия сети, МК не перестает получать информацию о текущем времени, а значит, не теряет свой функционал даже в нештатной ситуации.

Список литературы

1. Банников А. Arduino для начинающих: электроника своими руками. – СПб.: Питер, 2017. – 288 с. ISBN 978-5-496-02940-1
2. Кусков, А. Б. Arduino для начинающих. – Москва : ДМК Пресс, 2021. – 224 с.
3. Караваев, Я. С. Arduino Mega 2560. Проекты для самостоятельной сборки. – Москва : ДМК Пресс, 2017. – 288 с.

Проектирование системы анализа качества воздуха в г. Улан-Удэ

Прадхан С.В.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
seseigma-1992@mail.ru

Данная статья посвящена проектированию системы анализа качества воздуха в городе Улан-Удэ. Разрабатываемая система должна обеспечивать текущий мониторинг экологических параметров воздуха, как на открытой местности, так и в условиях города и предназначена для своевременного выявления превышения концентрации опасных веществ в воздухе. Отличительной особенностью создаваемой системы является высокая производительность при низких затратах. Соответствующий подбор компонентной базы и программная оптимизация алгоритмов работы позволит выявлять максимально точно концентрацию параметров воздуха.

Введение

Взвешенные частицы (РМ — particulate matter) представляют собой широко распространенный загрязнитель атмосферного воздуха, включающий смесь твердых и жидких частиц, находящихся в воздухе во взвешенном состоянии.

К показателям, которые обычно используются для характеристики РМ и имеют значение для здоровья, относятся массовая концентрация частиц диаметром менее 10 мкм (РМ₁₀) и частиц диаметром менее 2,5 мкм (РМ_{2,5}). В РМ_{2,5}, которые часто называют мелкодисперсными взвешенными частицами, также входят ультрамелкодисперсные частицы диаметром менее 0,1 мкм. На большинстве территории Европы РМ_{2,5} составляют 50–70% РМ₁₀.

РМ диаметром от 0,1 мкм до 1 мкм могут находиться в атмосферном воздухе в течение многих дней и недель и, соответственно, подвергаться трансграничному переносу по воздуху на большие расстояния. 2 РМ – это смесь, физические и химические характеристики которой меняются в зависимости от местонахождения. К наиболее распространенным химическим компонентам РМ относятся сульфаты, нитраты, аммиак, другие неорганические ионы, такие как ионы натрия, калия, кальция, магния и хлорид-ионы, органический и элементарный углерод, минералы земной коры, связанная частицами вода, металлы (в том числе ванадий, кадмий, медь, никель и цинк) и полициклические ароматические углеводороды (ПАУ). В составе РМ также встречаются биологические компоненты, такие как аллергены и микроорганизмы.

Система анализа качества воздуха

Для постоянного мониторинга экологической обстановки и предупреждения повышения опасных веществ в воздухе мной разработана специальная система анализа качества воздуха.

Целью нашей работы является создание устройства для определения частиц PM2.5 и PM10 с помощью датчика пыли Nova PM Sensor SDS011, запрос показаний с устройства при помощи SMS с использованием Arduino и SIM800L, распространение знаний и данных о загрязнении атмосферы среди всего населения.

В состав устройства входят:

1. Arduino Uno;
2. датчик пыли Nova PM Sensor SDS011;
3. модуль GSM, GPRS на чипе SIM800L;
4. преобразователь напряжения LM2596;
5. короткая трубка;
6. распределительная коробка с защитой от проникновения влаги и пыли IP66OBO Bettermann T 60 IP66;
7. провод DuPont 10х, 2.54 мм, 20 см, F-M, Female — Male.

Arduino UNO представляет из себя отладочный комплекс, выполненный на базе микроконтроллера ATmega328.

Датчик SDS011 – анализатор качества воздуха, разработанный компанией Nova Fitness. Принцип его работы основан на активной лазерной спектроскопии (анализ рассеяния луча лазера). Данный датчик способен обнаруживать в воздухе частицы с размерами от 0.3 до 10µm (микрометров).

Модуль GSM, GPRS на чипе SIM800L — это миниатюрный GSM-модем, который можно использовать в различных проектах, таких как охрана дачи или дома, сигнализация в машине и многое другое. Данный модуль по функционалу ничем не уступает обычному сотовому телефону, и с его помощью можно отправлять SMS сообщения, совершать или принимать телефонные звонки, подключаться к Интернету через GPRS, TCP / IP и многое другое. А также модуль поддерживает четырехдиапазонную сеть GSM / GPRS.

В основе модуля лежит чип SIM800L от SimCom. Рабочее напряжение чипа составляет от 3.4 В до 4.4 В. Контакты чипа SIM800L выведены по бокам модуля, включая контакты необходимые для связи с микроконтроллером интерфейс UART. Поддерживаемая скорость составляет от 1200 бит/с до 115200 бит/с с автоматическим определением. Для подключения к сотовой сети нужна внешняя антенна, которая идет в комплекте с модулем. Также на плате имеется разъем U.FL, если необходимо подключить выносную антенну.

На задней панели расположено гнездо для установки SIM-карты (подойдет любая SIM карта). Устанавливать SIM карту необходимо контактами к чипу SIM800L, а ключ должен располагаться сверху. Модуль GSM, GPRS на чипе SIM800L представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 - Внешний вид модуля GSM, GPRS на чипе SIM800L

Для понижения напряжения используется микросхема LM2596S-ADJ. Выходное напряжение модуля регулируется подстрочным резистором. Размеры модуля: 45 x 20 x 14 мм. Преобразователь напряжения LM2596 представлен на рисунке 2.



Рисунок 2 - Внешний вид преобразователя напряжения LM2596

Распределительная коробка OBO Bettermann (114x114x57мм IP66 T 60 7x25 светлый серый 2007061) устойчива к воздействию ультрафиолета. Изготовлена из термопластичного полипропилена со вставными уплотнителями из этиленвинилацетата (EVA). Распределительная коробка с защитой от проникновения влаги и пыли IP66 OBO Bettermann T 60 IP66 представлена на рисунке 3.



Рисунок 3 - Распределительная коробка с защитой от проникновения влаги и пыли IP66 OBO Bettermann T 60 IP66

Для стабильной работы модуля SIM800L необходим источник питания с рабочим током 2А. Подойдет преобразователь напряжения LM2596 с настроенным выходным напряжением 4.3 В.

Чтобы установить сенсор на улице, используем распределительную коробку с защитой от проникновения влаги и пыли IP66. Чтобы датчик смог получать воздух снаружи, добавим небольшую трубку. Также в корпусе должны присутствовать отверстия, через которые воздух будет уходить наружу. Отдельным проводом внутрь заводится питание.

Для данного устройства написана программа на основе Ардуино.

Данная система применима для использования как в городских условиях, так и на открытой местности для текущей оценки качества воздуха.

Заключение

Уже в ближайшее время система анализа качества воздуха будет регистрировать первые показания в городе Улан-Удэ. Это позволит нам провести сравнительный анализ с показаниями предыдущих годов и посмотреть динамику изменения качества воздуха в городе Улан – Удэ.

Список литературы

1. Джереми Блум Изучаем Arduino- инструменты и методы технического волшебства (2015)
2. Геддес, Марк. 25 крутых проектов с Arduino / Марк Геддес ; [пер. с англ. М.А. Райтм ана]. — Москва : Эксмо, 2019. — 272 с. — (Электроника для начинающих).
3. Петин В.А. 77 проектов для Arduino.- М.ДМС Пресс.2020.-356 с.

Исследования радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами и их применение в чрезвычайных ситуациях.

Быков А.В.

Иркутский национальный исследовательский технический
университет, Иркутск, Россия

Пожарно-спасательный отряд федеральной противопожарной службы государственной противопожарной службы главного управления МЧС России
по Иркутской области, Ангарск, Россия

mystery19981998@mail.ru

Данная тема исследования посвящена применению беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в чрезвычайных ситуациях, с акцентом на опыте МЧС. Исследование охватывает роль и возможности использования БПЛА в чрезвычайных ситуациях, таких как лесные пожары, наводнения, землетрясения и другие катастрофы. Основное внимание уделяется преимуществам БПЛА перед традиционными методами спасения и мониторинга в условиях чрезвычайных ситуаций. Рассматриваются конкретные примеры успешного применения беспилотных летательных аппаратов МЧС для оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации, обеспечения безопасности и координации спасательных работ. Результаты исследования подчеркивают значимость интеграции технологий беспилотной авиации в деятельность МЧС для эффективного управления чрезвычайными ситуациями и минимизации ущерба.

Введение

В современном мире применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА), или дронов, в различных областях все более распространяется и становится особенно актуальным в контексте чрезвычайных ситуаций. МЧС (Министерство по чрезвычайным ситуациям), как структура, ответственная за управление и координацию действий в чрезвычайных ситуациях, вносит значительный вклад в развитие и применение данной технологии. Исследование эффективности и потенциала применения БПЛА МЧС в различных чрезвычайных ситуациях является актуальным и значимым для оптимизации работы спасателей и уменьшения воздействия кризисных ситуаций на население и инфраструктуру.

С каждым годом чрезвычайные ситуации становятся все более разнообразными и сложными, требуя оперативного и многоуровневого реагирования со стороны специализированных служб, в том числе МЧС. Применение беспилотных летательных аппаратов в качестве нового информационно-технического средства может значительно повысить эффективность оперативного реагирования, обеспечивая лучшую обзорность, точность и скорость выполнения задач. Поэтому актуальность проблемы использования БПЛА в МЧС для решения чрезвычайных ситуаций находится на повышенном уровне.

Целью данного исследования является исследование характеристик радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами и анализ

применения беспилотных летательных аппаратов в чрезвычайных ситуациях с целью оценки их эффективности, потенциала развития и определения путей совершенствования данного направления деятельности.

Основные требования к системам связи БПЛА

Обычно линия связи между летательным аппаратом (ЛА) и наземным пунктом управления обеспечивает двусторонний обмен информацией между бортовой и наземной аппаратурой. Основные цели этой связи включают:

1. Передачу команд для управления полетом ЛА и активации целевого оборудования от наземного пункта управления к ЛА.

2. Передачу телеметрической информации и данных, полученных от целевого оборудования (например, фотоснимки, телевизионные изображения) от ЛА к наземному пункту управления.

Следует отметить, что радиолинии НПУ-ЛА и ЛА-НПУ имеют существенные различия в пропускной способности:

- Радиолиния НПУ-ЛА представляет собой узкополосный канал связи из-за небольшого объема передаваемой информации в течение полета ЛА. Скорость передачи информации в этом канале обычно не превышает нескольких десятков килобит в секунду.

- Радиолиния ЛА-НПУ, как правило, должна иметь значительно большую пропускную способность, которая определяется конкретным назначением аппарата и характеристиками установленного на нем целевого оборудования. В таблице 1 приведены требования к системам связи с БПЛА.

Таблица 1

Требования к системам связи с БПЛА

Тип канала связи	Передача командно-телеметрических данных	Передача данных полезной нагрузки
Вероятность битовой ошибки	Не более 10^{-6}	Не более 10^{-3}
Скорость передачи данных	Не более 56 Кб/с	1-20 Мбит/с (зависит от назначения аппарата и типа полезной нагрузки)
Направление передачи данных	Борт-Земля Земля-Борт	Борт-Земля

В системах связи с беспилотными летательными аппаратами (БПЛА) приоритет отдается передаче команд и телеметрических данных, в то время как данные от видеокамер и фотокамер направляются на наземную станцию для последующей обработки и использования, имея более низкий

приоритет. Команды управления передаются с наземной станции, а телеметрические данные поступают с БПЛА. Необходимость постоянного контроля ЛА и корректировки параметров полета во время выполнения миссии обуславливает требования к передаче команд и телеметрических данных на большие расстояния.

Осуществление передачи данных при использовании БПЛА

Как правило, на борту БПЛА размещаются не менее двух систем связи: дуплексная/полудуплексная аппаратура передачи командно-телеметрической информации и симплексная система передачи информации полезной нагрузки. Аппаратура передачи командно-телеметрической информации предназначена для низкоскоростной передачи командной информации с наземным комплексом управления (НКУ) на борт БПЛА и низкоскоростной передачи телеметрической информации с борта БПЛА на НКУ. Аппаратура передачи информации полезной нагрузки предназначена для односторонней высокоскоростной передачи информации полезной нагрузки с борта БПЛА на НКУ (Система организации связи БПЛА, рис. 1).

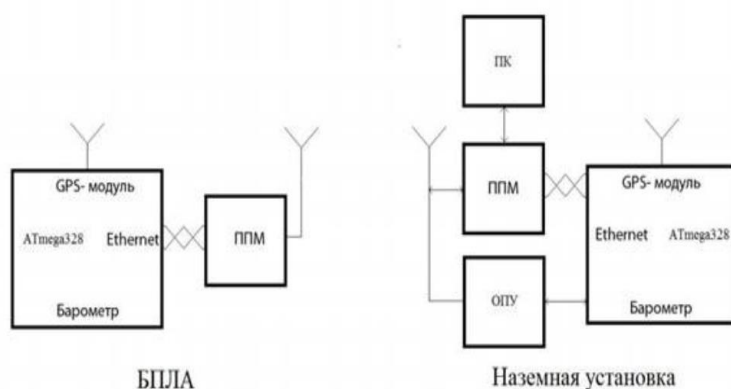


Рисунок 1. Система организации связи БПЛА с помощью беспроводной сети передачи данных

Данная система включает в себя два устройства: наземное и бортовое. Основное их отличие заключается в программном обеспечении, которое делает уникальным каждую часть системы. Оба устройства состоят из микроконтроллера, барометра, Ethernet-модуля, GPS-модуля и преобразователя питания. Блок связан с приемо-передающим модулем через Ethernet.

Максимальная дальность связи БПЛА

На рисунке 2 рассмотрим различные расположения беспилотного летательного аппарата (БПЛА) относительно наземной контрольной станции (НКУ). БПЛА может находиться в зоне прямой видимости (БПЛА №1), в зоне полутени (БПЛА №2) или в зоне тени, где связь может быть обеспечена

только благодаря дифракции сигнала на земной поверхности. Максимальная дальность радиосвязи определяется согласно следующей формуле:

$$d_{LOS} = \sqrt{2 \cdot R_3 \cdot h_1 + h_1^2} + \sqrt{2 \cdot R_3 \cdot h_2 + h_2^2},$$

где h_1 – высота подъема наземной антенны, м; h_2 – высота подъема бортовой антенны, м; d_{LOS} – предельная дальность прямой видимости, км; R_3 – радиус Земли ($R_3 = 6400$ км для высоких радиочастот).

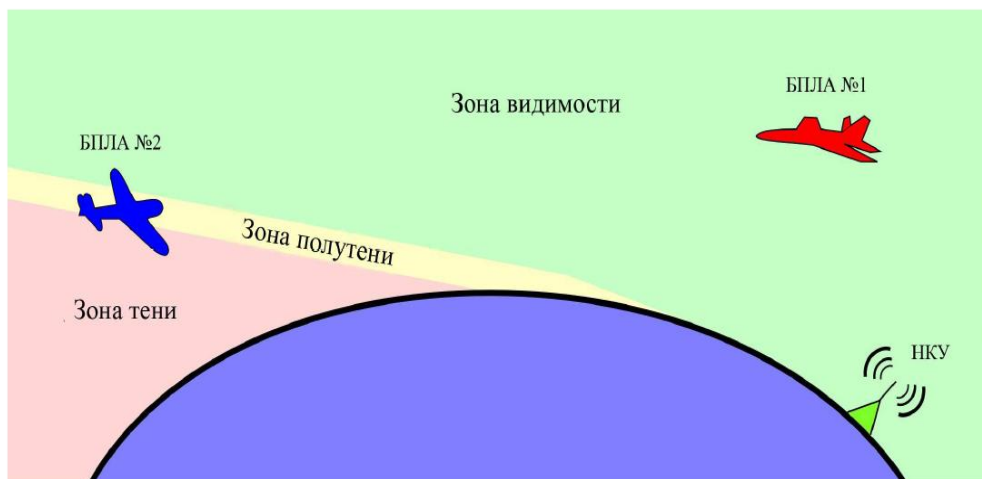


Рисунок 2. Зоны видимости, полутени и тени

На рисунке 3 показано, как максимальная дальность радиосвязи зависит от высоты полета беспилотного летательного аппарата (БПЛА) при заданных высотах подъема антенны на наземной контрольной станции (НКУ). Антенна НКУ представлена как мобильная и устанавливается на высоте, не превышающей 10 м (обычно 2-4 м). Например, при высоте полета БПЛА 1000 м предельное расстояние прямой видимости между БПЛА и НКУ составляет менее 140 км. Расчеты показывают, что для достижения дальности связи в 600 км БПЛА должны находиться на высоте более 20 000 м. Таким образом, для обеспечения большой дальности связи необходимо использовать спутниковую связь или другой БПЛА в качестве ретранслятора.

Из рисунка 3 следует, что зависимость максимальной дальности связи от высоты подъема антенны НКУ в диапазоне от 1 до 10 м является слабой. Поэтому выбор высоты мачты для установки наземной антенны определяется необходимостью уменьшить воздействие многолучевости, учитывая возможные препятствия на пути распространения сигнала, такие как рельеф местности и застройка.

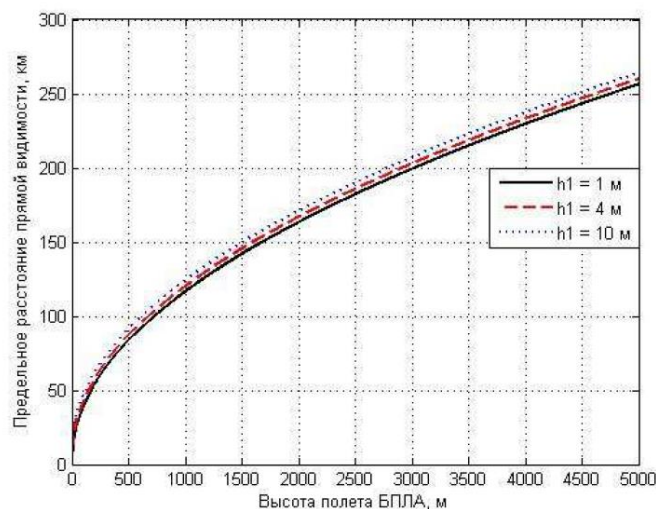


Рисунок 3. Максимальная дальность связи в зависимости от высоты подъема антенн БПЛА и НКУ

Заключение

В результате проведенного исследования были изучены характеристики радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами и проанализировано их применение в чрезвычайных ситуациях. Полученные данные позволяют сделать вывод о потенциале развития данной технологии и ее значимости для оперативного реагирования на чрезвычайные ситуации. Дальнейшее совершенствование данного направления деятельности предполагает не только техническое усовершенствование беспилотных летательных аппаратов, но и разработку эффективных стратегий и стандартов использования в экстренных ситуациях. В целом, результаты исследования подчеркивают важность интеграции беспилотных летательных аппаратов в деятельность МЧС для повышения эффективности спасательных операций и обеспечения безопасности людей в чрезвычайных ситуациях.

Список литературы

1. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение, Изд. 2-е, испр.: Пер. с англ. / Б. Скляр. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2003. 1104 с.
2. Окунев, Ю. Цифровая передача информации фазомодулированными сигналами / Ю. Б. Окунев. – М.: Радио и связь, 1991. – 296 с.
3. Фокин Г.А. Обзор моделей радиоканала связи с беспилотными летательными аппаратами // Труды учебных заведений связи. 2018. Т. 4. № 4. С. 85–101.
4. Прокис, Д. Цифровая связь / Д. Прокис. – М.: Радио и связь, 2000. – 800 с.

Исследование влияния серебряных наночастиц на люминесцентные и генерационные характеристики лазерных красителей

Гросс Е.И., Небогин С.А., Инешин Е.И., Иванов Н.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

egorgross6@gmail.com, s.a.nebo@yandex.ru

В настоящей работе определены факторы, влияющие на проявление эффекта Парселла в системе лазерный органический краситель – наночастицы серебра; теоретически рассчитан коэффициент усиления фотолюминесценции красителя; получены сферические наночастицы серебра боргидридным методом и экспериментально исследовано усиление стационарной люминесценции коллоидных растворов, содержащих молекулы красителя и серебряные кластеры.

Введение

Широкое распространение оптоэлектронных систем в современном мире связано с их неоспоримыми преимуществами, такими как высокая информационная емкость оптических каналов передачи информации, высокая помехозащищённость, возможность двойной – временной и пространственной модуляции светового потока и др. [1] Развитие оптоэлектронных систем во многом связано с использованием гибридных систем, основу которых составляют наноэлементы и сложные молекулярные структуры. Использование данных систем в качестве оптических материалов приводит к сложным взаимодействиям электромагнитного поля со структурными элементами. Таким образом, наличие металлических наночастиц, обладающих локальным поверхностным плазмонным резонансом, в излучающей матрице может приводить к изменению энергии и вероятностей электронно-колебательных переходов излучающей системы, например, молекул красителя, что в свою очередь ведет к изменению интенсивности люминесценции. Влияние металлических наночастиц, локализованных вблизи излучающих квантовых систем, на вероятности переходов получило название "эффект Парселла". Для успешного использования композитных оптических систем необходимо выявлять условия, при которых происходит желаемое изменение вероятностей соответствующих переходов. Анализ условий проявления эффекта Парселла является ключевым фактором для контроля вероятностей спонтанных переходов в таких сложных системах, как нанолазеры, однофотонные источники излучения и т.д.

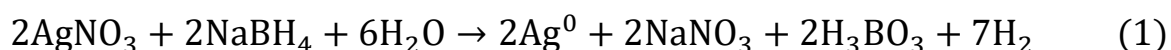
Целью данной работы являлось изучение влияния эффекта Парселла на стационарную люминесценцию молекул растворов лазерных органических красителей вблизи серебряных сферических наночастиц (AgНЧ). В соответствие с целью были поставлены следующие задачи: определение факторов, влияющих на проявление эффекта Парселла в системе флуоресцеин натрия – AgНЧ и нильский красный - AgНЧ, теоретический расчет значения

усиления люминесценции красителя в присутствии наночастиц и сравнение полученных расчетных данных с экспериментальными результатами.

В ходе выполнения экспериментальной части были синтезированы сферические наночастицы серебра в растворах поливинилового спирта различных концентраций, были получены изображения частиц методом просвечивающей электронной микроскопии и статистическим методом был определен средний размер частиц, равный 8-12 нм. Также в результате выполнения экспериментальной части были получены коллоидные растворы флуоресцеина натрия с разными концентрациями наночастиц в растворе и изучено влияние присутствия кластеров серебра на усиление люминесценции красителя при выдержке в течение нескольких дней.

Методика синтеза наночастиц серебра

Серебряные наночастицы были получены химическим восстановлением водного раствора нитрата серебра AgNO_3 тетрагидроборатом (боргидридом) натрия NaBH_4 в присутствии стабилизатора – поливинилового спирта (ПВС). Уравнение данной реакции приведено ниже:



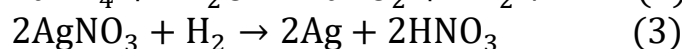
Для предотвращения агломерации серебряных наночастиц был использован водный раствор поливинилового спирта. При комнатной температуре молекулы ПВС за счет слабых сил Ван-дер-Ваальса «экранируют» наночастицы защитным слоем, который препятствует их дальнейшему росту.

Трехпроцентный раствор ПВС был приготовлен растворением 9 грамм порошка полимера в 291 грамме дистиллированной воды при постоянном перемешивании и нагревании до температуры 50 – 70 °C на магнитной мешалке. Так как степень растворимости в воде поливинилового спирта зависит от многих факторов, таких как кристалличность и степень полимеризации, то для того, чтобы ускорить реакцию гидролиза, было использовано диспергирование раствора полимера ультразвуковым методом. Под действием ультразвука в среде возникли механические деформации, в результате чего в растворе наблюдалось частичное разрушение структуры поливинилового спирта [3]. Для избавления нерастворимого осадка было применено вакуумное фильтрование с помощью форвакуумного насоса; нерастворимый осадок взвесили на лабораторных весах. Полученная массовая концентрация водного раствора ПВС составила 2,99 %. Однопроцентный раствор получили последующим разбавлением трехпроцентного поливинилового спирта.

Для приготовления коллоидного раствора наночастиц серебра были взяты водные растворы тетрагидробората натрия концентрацией 0,005 М

(что соответствует 0,0189 г боргидрида на 100 мл дистиллированной воды), 1%-ый и 3%-ый поливиниловый спирт с растворенным нитратом серебра концентрацией 0,00024 М.

Согласно (1) массовое соотношение водных растворов AgNO_3 и NaBH_4 должно быть 1 к 1 для того, чтобы вся масса азотнокислого серебра вступила в реакцию с образованием наночастиц. Однако эмпирическим путем было определено, что для полного восстановления серебра необходимо взять массу раствора боргидрида натрия в пятикратном избытке (рисунок 1). Связано это с реакционной способностью тетрагидробората: данное вещество при ненадлежащих условиях хранения впитывает в себя влагу, что приводит к выделению водорода (2), который и является ключевым звеном в восстановлении серебра (3).



В 50 мл однопроцентного ПВС растворили 0,00204 г AgNO_3 и по каплям (скорость 2-3 капли в секунду) добавили 79 мл 0,005 М раствора NaBH_4 при постоянном перемешивании на магнитной мешалке. В процессе прикапывания полученный коллоидный раствор НЧ серебра приобрел сначала светло-желтый оттенок, затем немного потемнел.

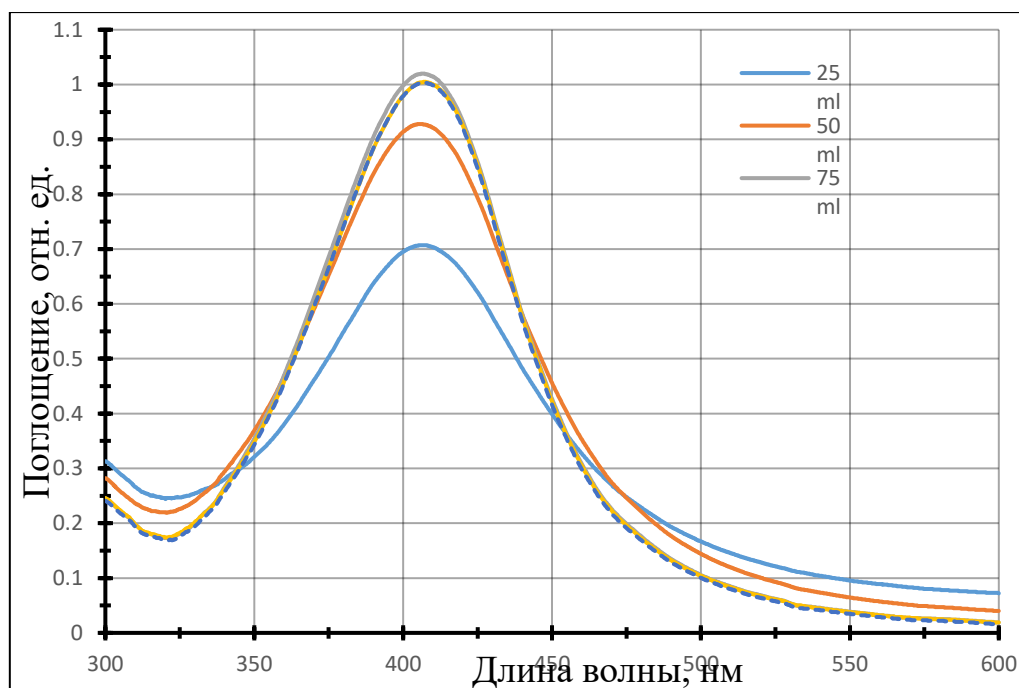


Рисунок 1. Спектры поглощения коллоидных растворов наночастиц серебра с разным содержанием NaBH_4

На рисунке 1 изображены спектры поглощения коллоидных растворов с наночастицами серебра, полученные на спектрофотометре Shimadzu UV-3600, при добавлении 25, 50, 75, 78 и 79 мл водного раствора боргидрида. Пик поглощения НЧАг наблюдается на 408 нм. Из данных графиков видно,

что при добавлении до 75 мл тетрагидробората натрия поглощение наночастиц растет, что свидетельствует о продолжении реакции восстановления серебра; после 75 мл происходит падение интенсивности пика, что связано с окончанием реакции восстановления и разбавлением полученного коллоидного раствора. При дальнейшем добавлении боргидрида концентрация частиц серебра уменьшается. Полученная при добавлении 79 мл NaBH_4 концентрация нанокластеров – 0,01 г/л.

Растворы с наночастицами серебра исследовались на просвечивающем электронном микроскопе Теснаі™ G² F20 в течение 3 дней для определения изменения среднего размера кластеров в продолжение данного срока. Для проведения измерений наносили одну каплю коллоидного раствора на заранее приготовленную медную сетку с формваровой пленкой и, подождав полного высыхания капли, делали снимок на ПЭМ (рисунок 2).

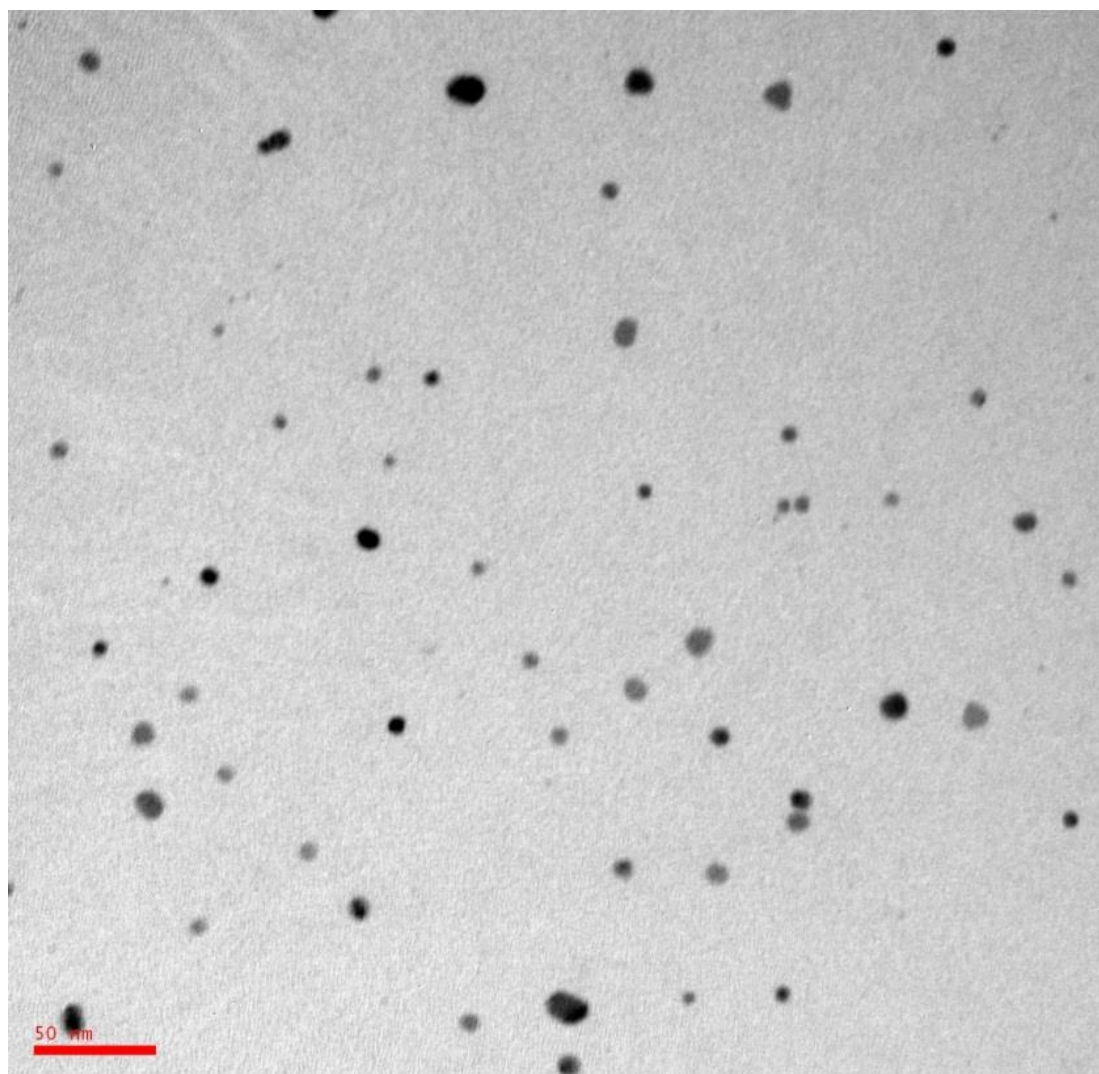


Рисунок 2. Изображение сферических наночастиц серебра в первый день после приготовления раствора

Как видно из рисунка 2, полученные наночастицы имеют правильную сферическую форму, за исключением агломерированных частиц.

Для исследования увеличения интенсивности флуоресценции красителя были приготовлены растворы наночастиц серебра разбавлением 0,01 г/л коллоидного раствора в 1% ПВС дистиллированной водой в различных соотношениях и смешаны с 5 г $6,67 \cdot 10^{-5}$ М раствора флуоресцеина натрия. Массы воды, исходного коллоидного раствора и концентрации наночастиц серебра в полученных растворах приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Концентрации растворов с наночастицами серебра в 1% ПВС

№ раствора	m_{H_2O} , г	$m_{исх.р-ра\ нч}$, г	$C_{нч}$, $\frac{г}{л}$
1	5	0	0
2	0	5	0,005
3	2,5	2,5	0,0025
4	3,3	1,67	0,00165
5	3,46	1,54	0,00155
6	3,57	1,43	0,00145
7	3,67	1,33	0,00135
8	3,75	1,25	0,00125

При добавлении кластеров серебра наблюдается усиление люминесценции диоксифлуорана. Сначала при уменьшении концентрации наночастиц Ag люминесценция красителя растет (для растворов №2-№4), затем происходит резкий спад интенсивности, обусловленный разбавлением (№ 5-8) растворов. Максимальное значение флуоресценции наблюдается у раствора №4 (концентрация наночастиц 0,00165 г/л). Данное значение интенсивности больше почти в 2 раза, чем у раствора № 1 (флуоресцеин с водой).

Заключение

В результате выполнения данной работы было изучено влияние эффекта Парселла на стационарную люминесценцию молекул водного раствора флуоресцеина натрия вблизи серебряных наночастиц. Исследование сложных взаимодействий электромагнитного поля со структурными элементами является очень важным с точки зрения развития композитных оптоэлектронных систем. Таким сложным взаимодействием в рамках данной работы является эффект Парселла, который заключается в усилении интенсивности излучения квантовых систем благодаря увеличению вероятности спонтанных излучательных переходов вблизи резонаторов, в качестве

которых выступают сферические наночастицы серебра. В работе было определено, что усиление люминесценции наблюдается только для красителей с относительно небольшой величиной квантового выхода.

В ходе выполнения работы боргидридным методом были синтезированы сферические нанокластеры серебра размером 8-12 нм в водном растворе поливинилового спирта; исследована динамика изменения размеров наночастиц от времени, на основе этого сделаны выводы о росте разброса кластеров по размерам в течение первых трех дней после восстановления. Экспериментально определили усиление люминесценции водного раствора диоксифлоурана натрия в присутствии серебряных частиц; теоретически рассчитали значение усиления свечения, которое составило $\approx 1,9$; и, сравнив с экспериментальными данными, пришли к выводу, что полученный расчет коэффициента усиления хорошо согласуется для концентрации серебра 0,00165 г/л. Было сделано заключение, что для проявления эффекта Парселла необходимо, чтобы частота электронных переходов молекулы отличалась от резонансной незначительно, а также выявлено, что усиление и тушение флуоресценции напрямую зависит от количества молекул, попадающих в зону влияния наночастиц как резонаторов, определяемую фундаментальными свойствами плазмон-поляритонов.

Благодарности

Экспериментальные данные получены с использованием оборудования Центра коллективного пользования «Байкальский центр нанотехнологий» ИРНИТУ.

Список литературы

1. Егорушина Е. А., Проявление эффекта Пёрселла в стационарной люминесценции молекул вблизи металлических наночастиц / А. А. Жданкина, А. Ф. Клиньских, А. Н. Латышев, О. В. Овчинников // Конденсированные среды и межфазные границы. 2015.- Т.17. № 3, С. 307—318..
2. Стародубцев, Д.С. Способы получения наночастиц. Преимущества и недостатки. / Д.С. Стародубцев, Д.Н. Криворотько, Е.И. Медик, А.В. Кривошапка // Харьковский национальный медицинский университет. – Харьков, Украина. – 2015.
3. Физические основы использования ультразвука в медицине: учебное пособие / И.И. Резников, В.Н. Фёдорова, Е.В. Фаустов и др. – Москва: РНИМУ им. Н.И. Пирогова, 2015. – 97 с.

Автоматическое распознавание свистящих атмосфериков с применением метода машинного обучения

Грудинин С.С., Полетаев А.С.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

sgrudinin2016@yandex.ru

В данной работе представлен метод автоматического обнаружения вистлеров — СДВ волн, генерируемых молниями и распространяющихся через магнитосферу. Используя сверточные нейросети для анализа спектрограмм, метод показывает точность обнаружения более 95%, что важно для мониторинга плазмосферы и анализа вистлеров. Обучение и тестирование проводились на базе более 2000 идентифицированных событий, что подтверждает эффективность предложенного подхода.

Введение

Свистящие атмосферические представляют собой особый тип электромагнитных волн очень низкой частоты (ОНЧ), которые распространяются в магнитосфере Земли. Они играют важную роль в изучении процессов в околоземном космическом пространстве и могут служить индикаторами различных геофизических явлений.

Традиционные методы обнаружения и анализа свистящих атмосферических основаны на ручной обработке данных, что является трудоемким и времязатратным процессом. Однако с развитием методов машинного обучения появилась возможность автоматизировать этот процесс, повысив эффективность и точность распознавания свистящих атмосферических.

Автоматическое распознавание свистящих атмосферических с применением машинного обучения является перспективным подходом, который позволит улучшить понимание процессов в околоземном космическом пространстве и расширить возможности использования данных ОНЧ-наблюдений в различных областях геофизики и космических исследований.

СДВ приемники на базе ИРНТУ

В настоящее время в Иркутском национальном исследовательском техническом университете функционирует измерительный комплекс, предназначенный для приема сигналов в диапазоне сверхдлинных волн (СДВ). Данный комплекс включает в себя ортогональные рамочные антенны, малошумящие предварительные усилители, полосовые фильтры и аналого-цифровой преобразователь (АЦП). Прием сигналов осуществляется как от навигационных СДВ радиостанций, так и от естественных источников излучения в диапазоне очень низких частот (ОНЧ) 0.3...40 кГц, что позволяет проводить мониторинг состояния магнитосферы [1].

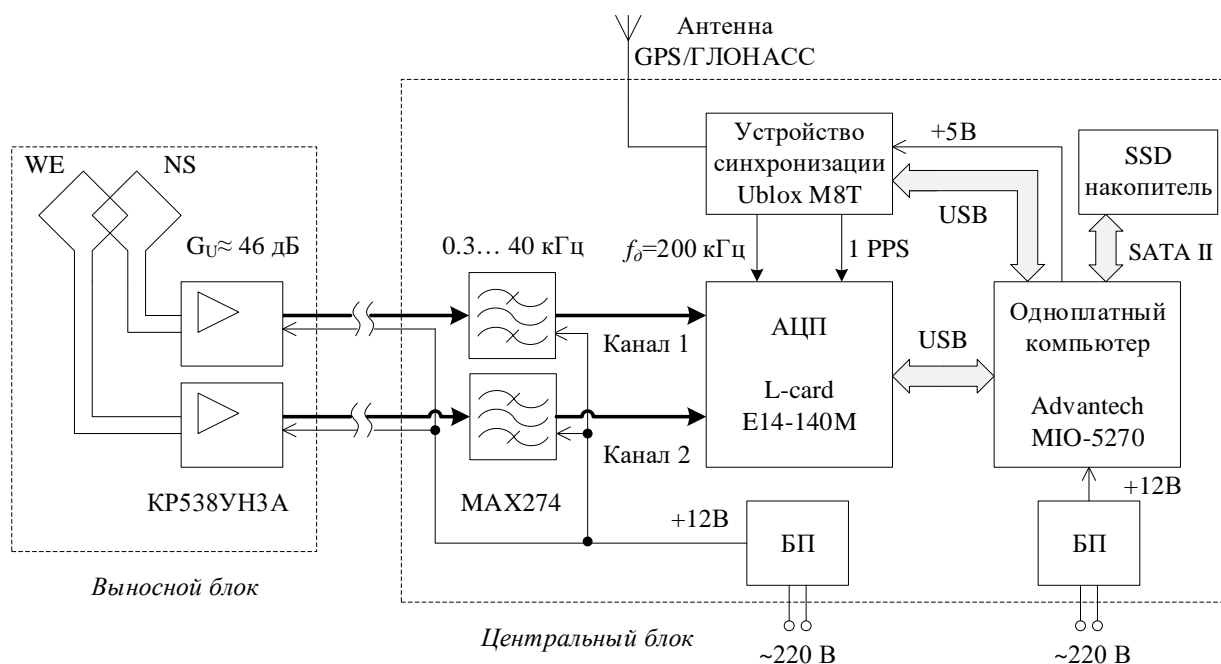


Рисунок 1. Структурная схема измерительного комплекса ИРНТУ

Постановка задачи

Одним из методов исследований магнитосферы является анализ прохождения свистящих атмосфериков (вистлеров) — естественных электромагнитных явлений, возникающих в результате грозовой активности.

Вистлеры представляют собой радиоволны с очень низкой частотой, которые возникают, когда электромагнитный импульс, вызванный молниевым разрядом, перемещается по плазме Земли вдоль магнитных силовых линий. Эти волны, порожденные импульсным излучением, проникают через магнитосферу Земли и достигают точек, магнитно связанных с источником, где их можно зафиксировать с помощью измерительных устройств.

Свистящие атмосферические представляют собой сигналы с характерной частотно-временной структурой, и их автоматическое обнаружение и классификация могут предоставить ценную информацию о процессах в ионосфере и магнитосфере Земли. Однако традиционные методы анализа свистящих атмосфериков, основанные на визуальном просмотре спектрограмм и ручной разметке данных, являются трудоемкими и не позволяют обрабатывать большие объемы информации в реальном времени.

В связи с этим, актуальной задачей является разработка методов автоматического распознавания свистящих атмосфериков на основе современных методов. Применение таких алгоритмов позволит существенно повысить эффективность и скорость обработки данных, получаемых с помощью СДВ приемников, и откроет новые возможности для исследования динамических процессов в околоземном космическом пространстве.

Существующие методы автоматического распознавания

Существует несколько методов автоматического распознавания атмосфериков, которые используются в исследованиях и практических приложениях:

1. Алгоритмы машинного обучения: Эти методы включают в себя использование нейронных сетей и других статистических моделей для классификации и распознавания атмосфериков на основе их характеристик [2].
2. Спектральный анализ: Применение спектрального анализа для выделения характерных частотных компонентов сигналов, связанных с атмосфериками.
3. Временной анализ: Изучение временных характеристик сигналов, таких как продолжительность и форма, для идентификации атмосфериков.
4. Статистический анализ: Использование статистических методов, таких как корреляция, автокорреляция, или спектральная плотность мощности, также может быть полезным для распознавания атмосфериков. Эти методы позволяют выделять закономерности в сигналах и отличать атмосферические сигналы от случайных шумов [3].
5. Вейвлет-анализ: Математический метод, который позволяет разложить сигнал на компоненты различных частот и анализировать его локальные характеристики во времени и частоте.

Для дальнейшей работы был выбран метод машинного обучения поскольку было принято решения, что анализ сигналов будет производиться по спектрограммам сигналов.

Предварительная подготовка и разметка данных

Данные для предобработки были взяты из открытого архива с данными СДВ приемников [4]. Был собран датасет размером 2000 файлов.

В результате подготовки данных были получены спектрограммы, на которых содержатся слабые и сильные вистлеры, группы вистлеров, спектрограммы без наличия вистлеров, с шумами. На рисунке ниже представлен пример получившейся спектрограммы. Эти разнообразные данные обеспечивают всестороннюю тренировку модели, позволяя ей распознавать разные виды данных.

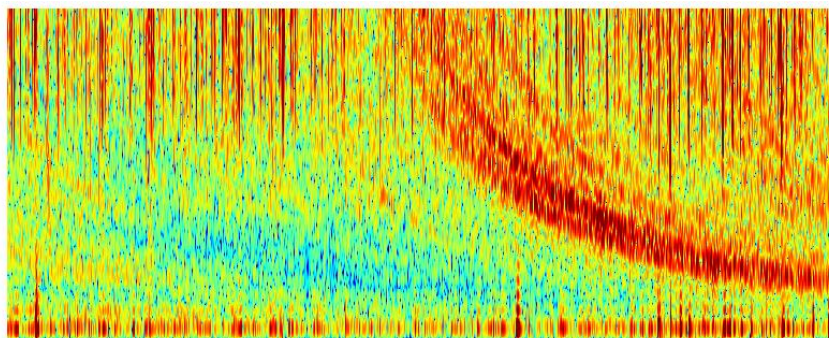


Рисунок 2. Пример спектрограммы сильного одиночного вистлера

Предварительная обработка данных включает создание спектрограмм из 2-секундных фрагментов сигналов с ограничением до 10 кГц и выбор контрастной цветовой карты для лучшего визуального представления. Это уменьшает шум и оптимизирует размер данных. Применение алгоритмов подавления фоновых шумов и усиления сигнала помогает улучшить качество спектрограмм, что в свою очередь способствует более точной и надежной классификации. Дополнительно, спектрограммы обрабатываются методами фильтрации и нормализации для удаления шума и выделения признаков, что необходимо для обучения сверточных нейросетей и точной классификации сигналов [5].

Создание и обучение нейросети

Алгоритм состоит из следующих этапов:

1. Подготовка данных: Данные разделяют на обучающую и валидационную выборки (80% и 20% соответственно). Изображения размером 400x1000 пикселей, батч размером 32, данные кэшируются и перемешиваются.
2. Создание модели: Сверточная нейросеть имеет три сверточных слоя (16, 32, 64 фильтров) с активацией ReLU. После этого идет слой выравнивания, два полносвязных слоя с 128 нейронами. Архитектура сети была тщательно подобрана для достижения оптимальных результатов на данном типе данных.
3. Компиляция модели: Модель компилируется с оптимизатором Adam, функцией потерь SparseCategoricalCrossentropy и метрикой точности. Настройки компиляции были определены путем тщательной настройки и экспериментов. Процесс обучения тщательно контролируется, чтобы при необходимости корректировать параметры модели.
4. Обучение модели: Обучение происходит в течение 20 эпох. Валидационная выборка помогает избежать переобучения.

Результаты обучения и валидации нейросети представлены на рисунке 6, демонстрирующем графики точности и потерь.

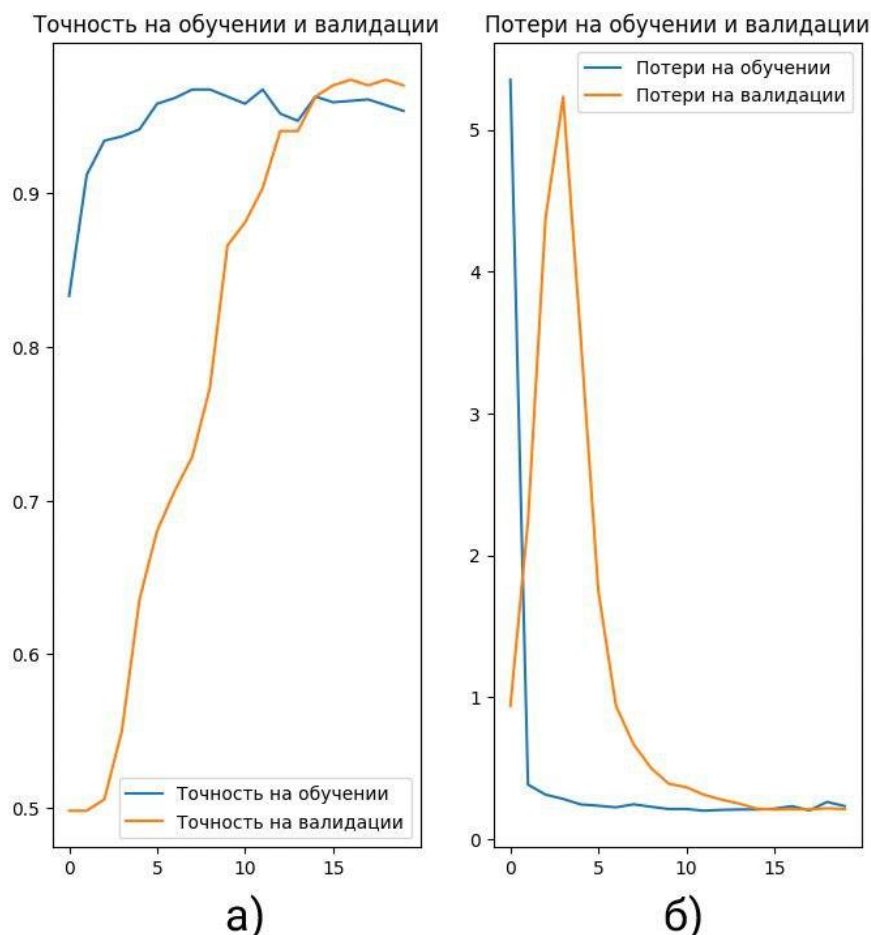


Рисунок 3. Динамика точности и потерь нейросети в процессе обучения а) Точность на обучающей и валидационной выборках в зависимости от количества эпох. б) Изменение функции потерь на обучающей и валидационной выборках с течением эпох

Анализ графиков точности и потерь показывает, что модель демонстрирует стабильное улучшение точности и снижение потерь на протяжении всех эпох обучения, что свидетельствует о ее эффективности. Схожесть кривых обучения и валидации говорит о том, что модель не переобучилась, а способна обобщать изученные закономерности на новые данные.

Тестирование и результаты

Для проверки двух методов был создан тестовый набор данных, основанный на ручной разметке. В этот набор вошли 1000 элементов, представляющих спектрограммы сигналов с СДВ-приемников из открытого архива, включая вистлеры и не-вистлеры, каждого по 500 элементов. Спектрограммы сначала были созданы из двухсекундных отрезков бинарных файлов, а затем отобраны вручную для тестирования.

После тестирования метода классификации были получены следующие результаты. Нейросеть показала высокую точность классификации,

общая точность 96,04%, точность классификации вистлеров 97,12%, а процент ошибочной классификации составил 5,04%.

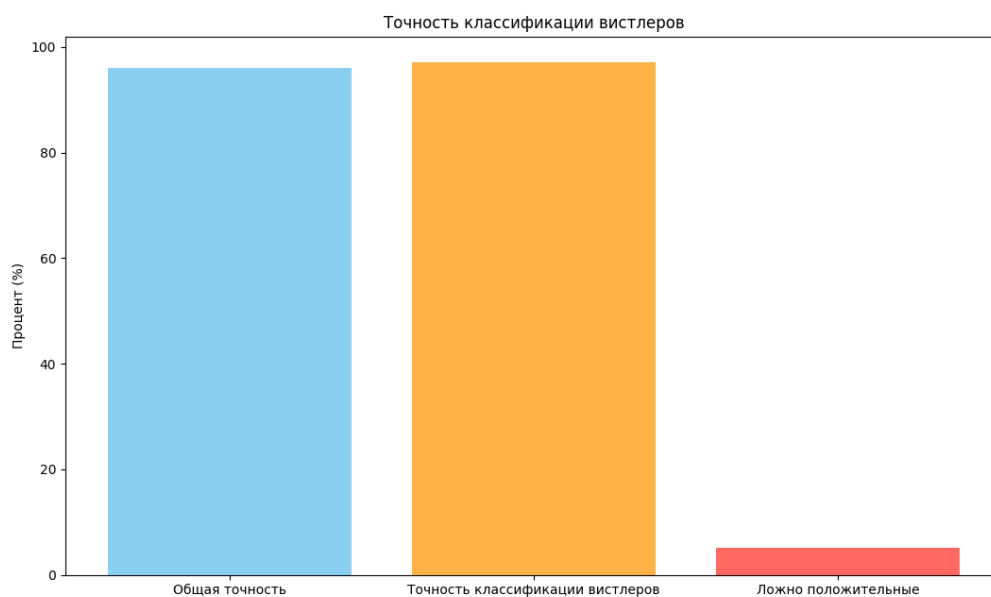


Рисунок 4. Визуализация точности классификации

Заключение

В ходе данного исследования был разработан и успешно протестирован метод автоматического обнаружения вистлеров с использованием сверточных нейросетей. Тестирование на подготовленной выборке из 1000 спектрограмм показало, что предложенный метод достигает высокой точности классификации, что подтверждает его потенциал для мониторинга плазмосферы и анализа электромагнитных явлений в реальном времени. Предложенный метод на базе сверточной нейросети открывает путь к созданию программы для обработки и классификации данных в реальном времени на СДВ-приемниках.

Список литературы

1. Полетаев А.С. Когерентное детектирование СДВ радиосигналов, распространяющихся в волноводе Земля-Ионосфера: дис. ...канд. физ.-мат. наук: 01.04.03 / Полетаев Александр Сергеевич. – И., 2019. – 38-39 с.
2. Harid, V., Liu, C., Pang, Y., Alvina, A. J., Golkowski, M., Hosseini, P., & Cohen, M. (2021). Automated large-scale extraction of whistlers using mask-scoring regional convolutional neural network // *Geophysical Research Letters*, 48, e2021GL093819. — p. 1–8. <https://doi.org/10.1029/2021GL093819>.
3. J. Lichtenberger, A new whistler inversion method // *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, vol. 114, no. 7, 2009. — p. 1–7.
4. Broadband Data Analysis: Waldo World / Waldo World. – 2024. – URL: <https://waldo.world/broadband-data/#1cb0WLIhTx7NIGgI7woYpd8UNfIjdL-Zn> (дата обращения: 10.05.2024). – Текст : электронный.
5. Konan, O.J.E.Y., Mishra, A.K., & Lotz, S. (2020). Machine Learning Techniques to Detect and Characterise Whistler Radio Waves // *arXiv:2002.01244v1 [eess.SP]*.

Исследование распространения радиоволн диапазона 2,4 ГГц с использованием антенны

Хацкевич Д.В., Гагарин С.И., Просвирякова Л.В.
ФГБОУ ВО «ИРНИТУ»

`danilhackevic274@gmail.com`, `slaveofst@gmail.com`, `lar_prosv@mail.ru`

В данной работе исследуется распространение радиоволн в диапазоне 2,4 ГГц с использованием антенн. Рассматриваются различные факторы, влияющие на распространение радиоволн, такие как наличие погодных явлений, препятствий. Представлено описание параметров антенны, программы, используемые для сбора информации. Приведены результаты измерений о влиянии погодных условий и наличие препятствий на уровень принимаемого сигнала в виде графиков.

Общие Сведения

Диапазон 2,4 ГГц — это часть радиочастотного спектра, простирающаяся от 2400 до 2483,5 МГц. Он используется для различных целей, включая беспроводную связь, радиолокацию и т.д. Наиболее часто данный диапазон применяется в технологии Wi-Fi, Bluetooth, также данный диапазон часто применяется в радиоуправляемых устройствах, микроволновых печах, что может сказаться на загруженности данного диапазона в густонаселенных местах. В данной работе рассматривается распространение данного диапазона на примере технологии Wi-Fi при различных погодных явлениях, а также влияние препятствия на уровень принимаемого сигнала.

Описание используемого оборудования

Антенна LigoDLB 2-9 — это направленная панельная антенна с усилением 9 dBi, предназначенная для использования в беспроводных сетях в частотном диапазоне 2,4 ГГц.

Наиболее частое применения данная антенна нашла в технологии hotspot — это локальная беспроводная сеть, которая предоставляет пользователям доступ к интернету с помощью технологии Wi-Fi.

Наиболее значимые технические характеристики:

- 1) Диапазон частот: 2.402–2.492 ГГц.
- 2) Мощность передатчика: до 20 dBm для Российской Федерации.
- 3) Чувствительность приёмника: от -95 до -76 dBm в зависимости от модуляции.
- 4) Усиление антенны: 9 dBi.
- 5) Используемые модуляции: 64-QAM, 16-QAM, QPSK, BPSK.
- 6) Диаграммы направленности для горизонтальной и вертикальной поляризации.

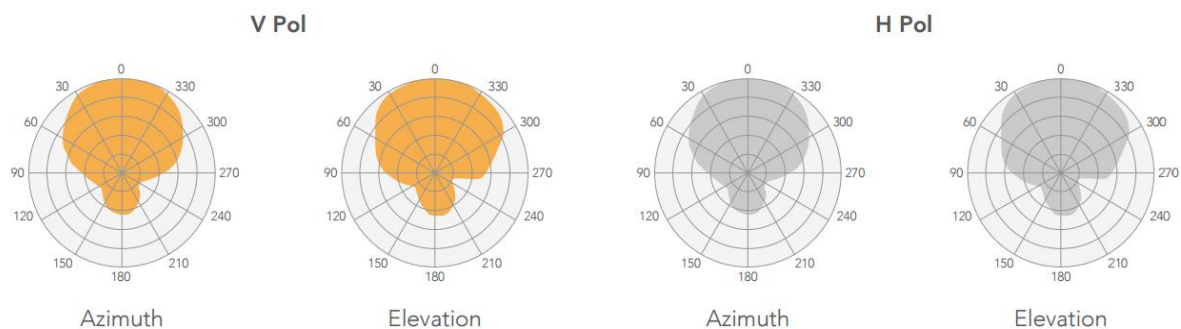


Рисунок 1. Диаграммы направленности для вертикальной и горизонтальной поляризации для направлений по азимуту и углу возвышения

Несомненным плюсом данной антенны является поддержка протокола IPv6, что в обозримом будущем продлевает техническое применение, также при помощи данной антенны можно отъюстировать антенны для обеспечения максимального качества связи, оценить уровень шумов для рабочего диапазона антенны. Данные функции можно реализовать при помощи вспомогательных подпрограмм, установленных в антенне. Помимо этого, подпрограмма для юстировки антенны была использована нами в качестве наглядного отображения влияния препятствия на уровень сигнала.

Также стоит сказать о поддержке MIMO 2x2 — это технология, которая позволяет увеличить пропускную способность и надежность беспроводного соединения за счет использования нескольких антенн как на передающей, так и на приемной сторонах.

Исследования антенны

Суть данного исследования заключалась в том, чтобы установить зависимость уровня сигнала от внешних условий, в частности от выпавших осадков и на основании полученных данных сделать вывод, влияют ли осадки на уровень сигнала. Нами были подключены и настроены антенны по принципу точка-точка. Необходимо было разнести антенны на наибольшее расстояние друг от друга. Наиболее оптимальным вариантом было расположение одной антенны в одной из аудиторий ИРНИТУ, а именно в одном из помещений Д-амфитеатра, вторую антенну установили в одном из домов студгородка, а именно в общежитии №5. Итоговое расположения антенн и отображения на карте прикреплены ниже.



Рисунок 2. Отображение на карте

Далее с 10.06.23 был период сбора данных уровня сигнала. Измерения проводились при помощи веб-интерфейса антенны. Время записывание данных примерно одинаковое. За неделю были собраны данные о уровне сигнала, также из архива погоды были взяты данные о выпавших осадках. Результаты прикреплены ниже.



Рисунок 3. График зависимости уровня сигнала

Синий график отображает зависимость уровня сигнала от времени суток, оранжевый график соответственно количество выпавших осадков за данный период времени. Из графика видно, что во время выпадения осадков уровень сигнала падает. Дождь как в прочем и любые другие погодные явления сильно сказываются на качестве принимаемого сигнала. Капли воды помимо частичного поглощения сигнала также могут его отражать, что приводит и многолучевому распространению, что в свою очередь может привести к интерференции сигнала, что значительно сказывается на качестве принимаемого сигнала вплоть до его потери. Если еще учесть, что сигнал

распространяется уже в неблагоприятных условиях, таких как густая растительность, при взаимодействии этих двух факторов качество сигнала сильно ухудшается, что мы и видим на графике.

Влияние препятствий на уровень сигнала

Суть данного исследования заключается в том, чтобы экспериментально оценить свойство материалов отражать электромагнитные волны. На способность материала отражать либо пропускать электромагнитные волны влияют в первую очередь такие параметры, как:

- 1) Толщина материала. Чем толще материал, тем более эффективно он поглощает электромагнитные волны.
- 2) Электропроводимость. Чем больше данный показатель, тем лучше материал отражает электромагнитные волны
- 3) Плотность материала. Чем плотность больше, тем хуже проходят через него волны.

На графиках показан уровень сигнала при различной природе материала на двух расстояниях от антенны, на первом провале экран находится на расстоянии 45 см от антенны, на втором провале экран находится на расстоянии 20 см. В качестве экранирующих материалов были использованы железный лист толщиной 1мм без каких-либо отверстий и омедненный с двух сторон текстолит толщиной 2мм. Измерения производились при помощи встроенной программы Antenna alignment.

Инструмент Antenna Alignment измеряет уровень сигнала на двух приемных антеннах и отображает данные на простом информативном графике. Рассмотрим графики.

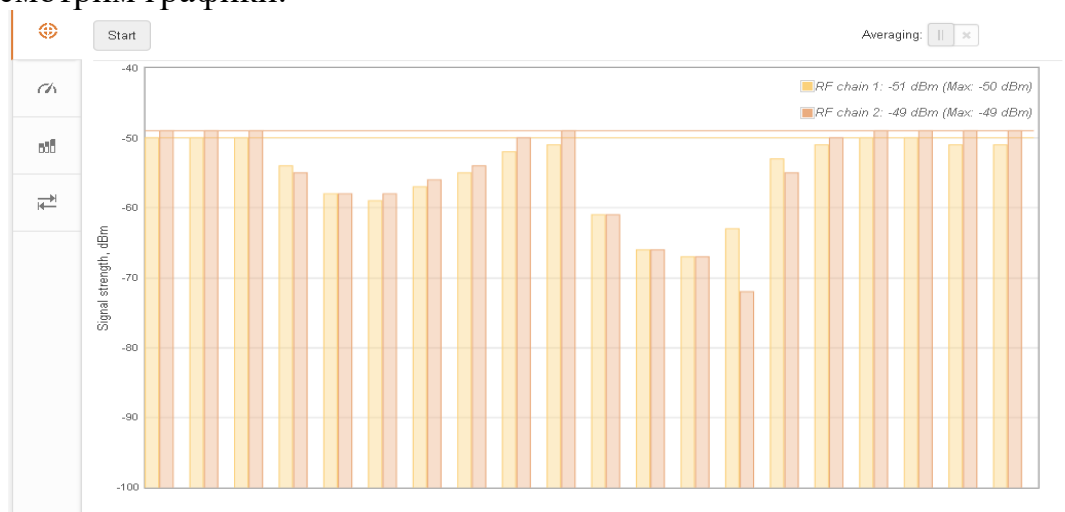


Рисунок 4. Препятствие в виде листа металла

Желтый и оранжевый графики отображают уровни сигналов на двух приемных антеннах.

На первых трех отсчетах сигнал ничем не экранируется, далее следует ухудшение сигнала, вызванное экранированием антенны на расстоянии 45

см. Падение уровня сигнала составило около 8 dBm, что не так критично, далее мы видим возвращение уровней в начальное состояние, связанное с перестановкой экрана, в этот промежуток времени он никак не влияет на передачу. Далее мы наблюдаем резкий провал, порядка 11-15 dBm, что соответствует экранированию на расстоянии 20 см.

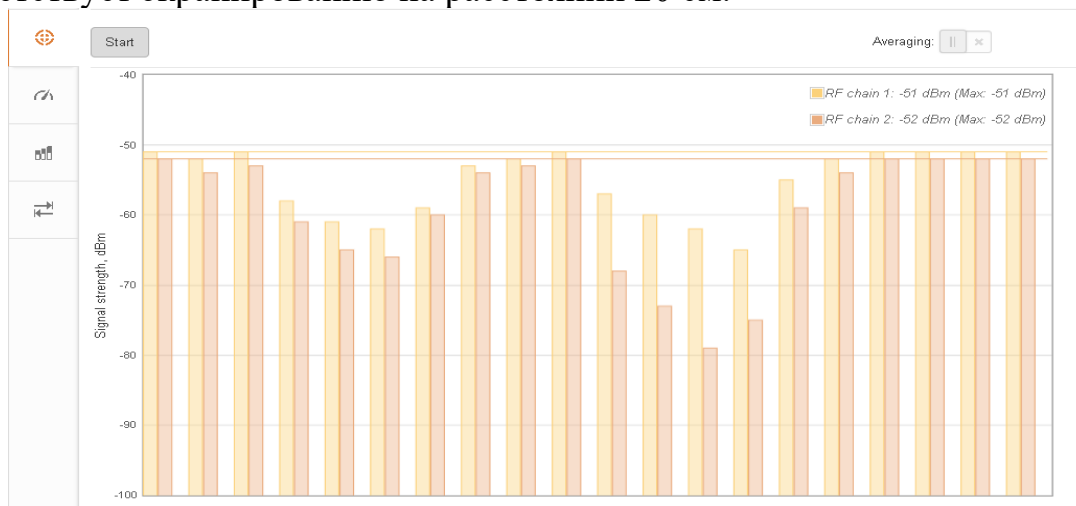


Рисунок 5. Препятствие в виде омедненного текстолита

Экран в виде омедненного текстолита оказал более лучшие показатели с точки зрения ухудшения уровня сигнала по сравнению с железным листом. Это связано с тем, что:

1. У меди больше электропроводность, значит она более эффективно поглощает и отражает электромагнитное излучение.
2. Экран из меди толще, 2 мм экран из меди, 1 мм экран из железа
3. Медь плотнее. Плотность железа - 7,874 г/см³. Плотность меди - 8,92 г/см³.

Заключение

По полученным данным можем сделать вывод о целесообразности учета при проектировании беспроводных сетей влияние внешних факторов, начиная от природы объектов, расположенных близи и между антенн до климатических условий для данной местности.

Список литературы

1. LigoDLB User Guide [Электронный ресурс], режим доступа URL: <https://www.ligowave.com/public/downloads/LigoDLB-7.54-UG-2016.pdf> (дата обращения: 8.04.2024)
2. В.П. Кубанов. Влияние окружающей среды на распространение радиоволн: Учебное пособие/ В.П. Кубанов – Самара: ПГУТИ, 2013. – С. 44-72.
3. Архив погоды в Иркутске [Электронный ресурс], режим доступа URL: https://rp5.ru/Архив_погоды_в_Иркутске (дата обращения: 8.04.2024)

Разработка системы предупреждения и исправления ошибок в данных на входе системы ГНСС-исследования ионосферы SIMuRG

Силаков И.А.¹, Едемский И.К.²

1 – Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия

2 – Институт солнечно земной физики, Иркутск, Россия
sayliv.1124244@gmail.com, ilya@iszf.irk.ru

Глобальная и региональные сети ГНСС-приемников много лет эффективно используются для геофизических исследований. В статье говорится об использовании системы SIMuRG, которая в автоматическом режиме анализирует большие объёмы данных. Система SIMuRG неспособна находить ошибки в файлах, с которыми работает. Для этого необходимо написать программу для анализа оригинальных rinex файлов.

Введение

Система SIMuRG это система получения, обработки, хранения и предоставления данных Полного электронного содержания на основе ГНСС-измерений. Данная система разработана для анализа ионосферы, по данным с ГНСС спутников. Данная система обрабатывает большое количество данных формата RINEX, но не способна находить ошибки в файлах, которые принимает. Цель данной работы найти программой tecsuite в RINEX файлах ошибки и попытаться их исправить. Просмотреть отчёт этой программы для анализа найденных ошибок и предупреждений. В дальнейшем это позволит исправлять ошибки в оригинальном RINEX файле.

Система SIMuRG

SIMuRG [1] — это система получения, обработки, хранения и предоставления данных полного электронного содержания на основе ГНСС-измерений, а также продуктов вторичной обработки: вариаций ПЭС, скорректированного ПЭС, карт ПЭС, параметров ионосферных возмущений. Данная система в автоматическом режиме обрабатывает большие объёмы данных со всех ГНСС станций мира (около 6000 станций), поэтому стоит задача выявлять на этапе предобработки некорректные данные, исправлять их и отдавать системе SIMuRG на дальнейшую обработку.

Формат RINEX

RINEX [3] (сокр. англ. Receiver Independent Exchange Format) — формат обмена данными для файлов исходных данных спутниковых навигационных приёмников. Он позволяет пользователям производить пост-обработку полученных данных для выполнения более точных вычислений.

Программа tec-suite

Tec-suite [2] — программное обеспечение для восстановления наклонного значения полного электронного содержания (ТЕС) в ионосфере с использованием данных, полученных от глобальных навигационных спутниковых систем, таких как GPS, ГЛОНАСС и др. Данная программа принимает два типа файлов: первый тип - файл наблюдений (данные принятые станцией), второй тип - навигационный файл - сведения по положению спутников. Данная программа анализирует эти два файла и выдаёт файл, содержащий данные для полного электронного содержания на основе ГНСС-измерений, а пишет лог файлов. В данном логе можно будет увидеть какие файлы имеют проблемы.

Постановка задачи

В рамках настоящей работы была поставлена задача по разработке двух систем: системы предупреждения ошибок (СПО) и системы исправления ошибок (СИО). В программе tec-suite будет обработана группа файлов со спутника и со станции. После чего будет проанализирован отчёт программы tec-suite на нахождение ошибок или предупреждений с целью исправлений недочётов искажений в файле, если исправление возможно.

После нахождения файлов с ошибками или предупреждениями, данные файлы будут переданы программе исправления ошибок. Данная программа проанализирует файл и исправит ошибку.

Система предупреждения ошибок

Файлы данных могут иметь ошибки различной природы:

1. недокаченный/поврежденный файл
2. неверный формат имени
3. недопустимые символы в заголовке (Unicode)
4. ошибка в блоке измерений: неверный номер (время) эпохи, дублирование эпох, неверный шаг и т.п.
5. неизвестные пока ошибки

Неверный формат имени

Файлы должны иметь определённый шаблон записи имени — в соответствии с соглашением имен RINEX. Иногда случается так, что некоторые файлы имеют неправильную запись расширения файла, либо в самом файле не совпадают дни записи данных с тем, что записано в имени файла. У имени файла должен быть строгий формат записи: первые 4 символа — имя станции, далее 3 символа день с начала года, последний символ 0/1, если 0, то с файлом всё в порядке, если 1, то какие-то проблемы. Далее идёт точка, после неё указывается расширение файла 17d или 17o, где 17 — это год, буквы d или o указывают на расширение файла наблюдений. Примеры записи имени файлов приведены на рисунке 1.

blsa0910.19d.Z	19	091	OK
burn0910.19d.Z	19	091	OK
chel0910.19d.Z	19	091	OK
cn420910.19d.Z	19	091	OK
cn440910.19d.Z	19	091	OK
mobk0910.19d.Z	19	091	OK
cn410910.19d.Z	19	091	OK
newl0910.19d.Z	19	091	OK
sc010910.19d.Z	19	091	OK
rio20910.19d.Z	19	091	OK
ambc0911.Z	19	091	Что-то не так с именем файла
amua0911.Z	19	091	Что-то не так с именем файла
bail0911.Z	19	091	Что-то не так с именем файла
bavc0911.Z	19	091	Что-то не так с именем файла

Рисунок 1 – Пример правильного и неправильного записи формата имени в RINEX файле

Ошибка в блоке измерений: неверный номер (время) эпохи, дублирование эпох, неверный шаг и т.п

Что касается данной ошибки, то она может быть, двух видов: критичной – программа не может обработать данный файл, так и не критичной – программа способна работать с этими файлами. Как пример, предупреждение о том, что ожидался стандартный интервал, равный 15 секундам. Но вместо стандартных 15 секунд встретился пустой интервал.

Вот пример ошибки, которая говорит о том, что не найден интервал в заголовке:

[WARNING] Wrong interval value in the header of C:\Users\lenovoPC\Desktop\GPS_DATA_unzip\2003d\abeb3080.03d: None; using 30.0 instead.

Также есть разновидность данной ошибки, когда в заголовке указан интервал записи эпох, но он не верный.

[WARNING] Wrong interval value in the header of C:\Users\lenovoPC\Desktop\GPS_DATA_unzip\2000d_chast\anto0420.00d: 15; using 5.0 instead.

Также есть предупреждение, в котором говорится, что был обнаружен тип наблюдений в данных, который программа не знает. Пример на рисунке 2.

hers3080.03d	2003-11-04 23:59:30	OK	[WARNING] Unknown observation type: ' S1'
hers3090.03d	2003-11-05 23:59:30	OK	[WARNING] Unknown observation type: ' S1'

Рисунок 2 – Отсутствие данных о станциях типа S1

Выше были приведены предупреждения, которые так или иначе позволяют обработать данные в файле. Теперь рассмотрим ошибки, которые не позволяют программе обрабатывать файлы.

Первый тип ошибок – это отсутствие координат станции в заголовке. Точная причина данной ошибки неизвестна.

[ERROR] Can't calculate LBH values: float division by zero, XYZ = (0.0, 0.0, 0.0).

Второй тип ошибок – это невозможность прочесть эпохи (метки времени в RINEX, эпохи идут с заданным шагом, указанным в заголовке). Пример данной ошибки указан на рисунке 3.

bipd0900.00d	2000-03-31 OK	[ERROR] Can't read epoch: EPHEMG 1.00	MCC A.Konetchnykh	25-Feb-05 18:24	PGM / RUN BY / DATE
borg0900.00d	2000-03-31 OK	[ERROR] Can't read epoch: EPHEMG 1.00	MCC A.Konetchnykh	25-Feb-05 18:24	PGM / RUN BY / DATE
bipd1700.00d	2000-06-11 OK	[ERROR] Can't read epoch: EPHEMG 1.00	MCC A.Konetchnykh	28-Feb-05 18:12	PGM / RUN BY / DATE
borg1700.00d	2000-06-11 OK	[ERROR] Can't read epoch: EPHEMG 1.00	MCC A.Konetchnykh	28-Feb-05 18:12	PGM / RUN BY / DATE
bipd1730.00d	2000-06-21 OK	[ERROR] Can't read epoch: EPHEMG 1.00	MCC A.Konetchnykh	28-Feb-05 18:18	PGM / RUN BY / DATE
borg1730.00d	2000-06-21 OK	[ERROR] Can't read epoch: EPHEMG 1.00	MCC A.Konetchnykh	28-Feb-05 18:18	PGM / RUN BY / DATE
borg1800.00d	2000-06-21 OK	[ERROR] Can't read epoch: EPHEMG 1.00	MCC A.Konetchnykh	28-Feb-05 18:36	PGM / RUN BY / DATE

Рисунок 3 – Пример отсутствие эпох в самом начале

Причём тут может быть два варианта. Это то, что данные не могут прочитаться программой сразу же, так и то, что данные читаются до определённой эпохи и на ней ломаются и появляются ошибки. Пример ошибки с отсутствием эпохи в середине данных, приведён на рисунке 4.

bipd2290.00d	2000-08-11 OK	[ERROR] Can't read epoch: 10 0 8 1 2.01	GLONASS NAV DATA	RINEX VERSION / TYPE
borg2290.00d	2000-08-11 OK	[ERROR] Can't read epoch: 10 0 8 1 2.01	GLONASS NAV DATA	RINEX VERSION / TYPE

Рисунок 4 – Пример отсутствие эпохи в середине текста

Третий тип ошибок – искажённые данные. Это подразумевает что отсутствует часть данных, и скорее всего это вызвано тем, что файл был скачан частично, либо произошла ошибка на этапе записи файла.

bipd1790.00d	2000-06-21 OK	ERROR : The file seems to be truncated in the middle.
bipd1800.00d	2000-06-21 OK	ERROR : The file seems to be truncated in the middle.
bipd1820.00d	2000-06-30 OK	ERROR : The file seems to be truncated in the middle.
bipd1850.00d	2000-07-01 OK	ERROR : The file seems to be truncated in the middle.

Рисунок 5 – Пример отсутствие части эпох для чтения

Четвёртый тип ошибок – пустая эпоха. Данная ошибка говорит о том, что отсутствует эпоха, но в заголовке записано, что должны данные быть.

brug0440.00d	2000-02-11 OK	ERROR at line 11123 : The data field in previous epoch is blank, but the arc is not initialized.
ALME0600.00d	2000-02-21 OK	ERROR at line 5678 : The data field in previous epoch is blank, but the arc is not initialized.

Рисунок 6 – Пример отсутствие части эпох для чтения

Для более удобного восприятия человеком данных, была написана программа для переноса данных из консольного формата, в формат EXCEL таблиц с выводом только нужной информацией. Пример на рисунке 7. Код данной программы сохранён на GitHub [4].

Таблица 1 – Участок таблицы после работы программы

Name	Date	Processed Info	Error or Warning
alx20650.19d	2019-03-06 00:00:00	OK	[WARNING] Can't find any navigation file for the 'R' on 2019-065.
alx20700.19d	2019-03-11 00:00:00	OK	[WARNING] Can't find any navigation file for the 'R' on 2019-070.
amu21070.19d	2019-04-17 00:00:00	OK	[WARNING] Can't find any navigation file for the 'R' on 2019-107.
aps10700.19d	2019-03-11 00:00:00	OK	[WARNING] Wrong interval value in the header of C:\Users\lenovoPC\Desktop\2019d\aps10700.19d : None; using 15.0 instead.
aps11010.19d	2019-04-11 00:00:00	OK	[WARNING] Can't find any navigation file for the 'R' on 2019-101.
azmp1600.19d	2019-06-09 00:00:00	OK	[WARNING] Can't find any navigation file for the 'R' on 2019-160.
base0700.19d	2019-03-11 23:59:00	OK	NO ERROR or WARNING
bele0700.19d	2019-03-11 00:00:00	OK	[WARNING] Wrong interval value in the header of C:\Users\lenovoPC\Desktop\2019d\bele0700.19d: None; using 15.0 instead.
benn0700.19d	2019-03-11 23:59:30	OK	NO ERROR or WARNING
benn1070.19d	2019-04-17 23:59:30	OK	NO ERROR or WARNING
bjfs1070.19d	Дата не найдена	NOT OK	ERROR at line 1: null character is found in the line or the line is too long (>1024) at line.

В процессе обработки данных была накоплена статистика появления ошибок и предупреждений. Было обработано примерно 10000 файлов. Из 10000 тысяч файлов 9000 целые без ошибок и предупреждений, 1200 файлов с предупреждениями и 40 файлов с ошибками, из-за которых они не обрабатываются программой. Статистика обработанных файлов приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Статистика по обработанным файлам

год	Всего данных обработано	без ошибок	с предупреждениями	с ошибками
2000	7022	6274	714	34
2003	633	633	0	0
2005	155	155	0	0
2014	2114	1735	376	3
2015	346	319	26	1
2019	151	50	99	2
	10421	9166	1215	40

Заключение

По обработанным данным была составлена статистика. Среди обработанных файлов 88% — это файлы, не содержащие ошибок или исправлений. Около 12% файлов содержат предупреждения, но как уже было выяснено в ходе работы, данные файлы могут обрабатываться программой *tec-suite*. Файлы, которые не может прочитать программа составляют 0,3% от всех файлов. Также, из сорока семи тысяч файлов, файлов с ошибками в имени было найдено 366, что составляет около 0,08%.

Сейчас происходит работа по исправлению первого типа ошибок. Есть список станций с их координатами. Ведётся работа над написанием кода для исправления данной ошибки. В будущем будут проанализированы и другие.

Список литературы

1. Официальный сайт системы SIMuRG SIMuRG — это система получения, обработки, хранения и предоставления данных Полного электронного содержания на основе ГНСС-измерений – URL: <https://simurg.space> (дата обращения: 10.5.2024)
2. Ссылка на программу *tec-suite*. – URL: <http://www.gnss-lab.org/tec-suite.html> (дата обращения: 20.5.2024)
3. ПДФ сайт с инструкцией по работе с *rinex* файлами, сайт: интернет-версия. – URL: <https://gnss.4du.ru/wp-content/uploads/2016/02/rinex211rus.pdf> (дата обращения: 19.05.2024).
4. Ссылка на гит репозиторий где хранится написанный код. – URL: https://github.com/SayliV/Diplom_Git

Реакция ионосферы на солнечные затмения в Северной Америке по данным сети наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем

Воронов К.С., Агеев Р.В., Ишин А.Б.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

kirill.voronov.0500@mail.ru, r.ageev2019@yandex.ru, ishin.artem@yandex.ru

В статье приведены результаты картирования ионосферные возмущений, регистрируемых глобальной сетью приемников ГНСС, во время полного солнечного затмения 14 октября 2023 года.

Введение

Изменчивость и неоднородность являются характерной особенностью верхней части атмосферы Земли – ионосферы. В существенной мере они проявляются в полном электронном содержании (ПЭС), представляющем из себя количество электронов, которые содержатся в столбе единичного сечения вдоль траектории распространения радиосигнала. Вариации полного электронного содержания являются индикаторами состояния ионосферной плазмы, так как обусловлены изменениями концентрации электронов вдоль пути распространения радиоволн. Полное электронное содержание изменяется под воздействием целого ряда различных причин, в частности: солнечных затмений [1].

Существуют различные инструменты, которые применяют для изучения ионосферы. В настоящее время для исследования структуры и динамики ионосферы широкое применение получили глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) ГЛОНАСС и GPS [2].

Целью данной работы является построение карт вариаций ПЭС во время затмения 14 октября 2023 года по данным глобальных навигационных спутниковых систем с сети наземных приёмных станций [1].

Исследуемое событие

В год на Земле может происходить от 2 до 5 солнечных затмений, из которых не более двух – полные или кольцеобразные. В среднем за сто лет происходит 237 солнечных затмений, из которых 160 – частные, 63 – полные, 14 – кольцеобразные.

С начала 2000 года насчитывается 13 полных солнечных затмений. Каждое затмение по-своему уникально, ведь затмение в одном и том же месте можно видеть лишь через 200-300 лет, да и к тому же происходят они при разных геомагнитных условиях, в разное время года и т.д.

Уникальность данного события в его геометрии. Полная фаза затмения проходила через плотную сеть станций ГНСС, что является отличной

базой для наблюдения изменения полного электронного содержания (рисунок 1).



Рисунок 1. Траектория кольцеобразного солнечного затмения над Северной Америкой. Процентами обозначена доля покрытия Солнечного диска Луной от максимальной фазы

Солнечное затмение 14 октября 2023 года — кольцеобразное солнечное затмение, максимальную фазу которого можно было наблюдать на территории США, Центральной Америки, Колумбии и Бразилии.

Карта исследуемого события

Для понимания взаимного положения станций и траектории пути тени Луны построена карта исследуемого события (рисунок 2).

Геометрия эксперимента

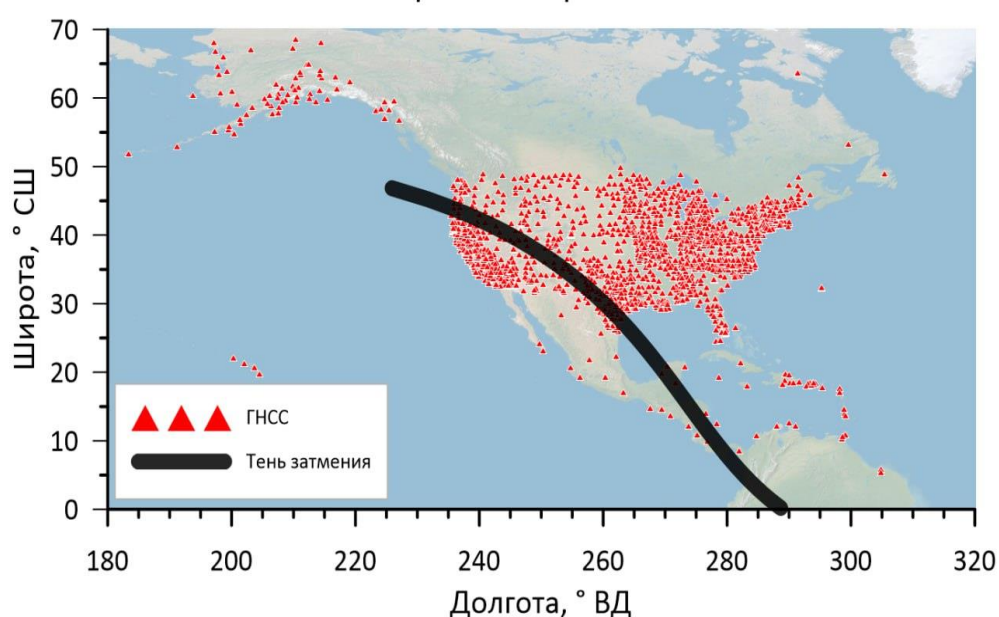


Рисунок 2. Карта положения наземных станций ГНСС в день затмения.

В нашей работе определялись вариации ПЭС по данным слежения за фазой двухчастотными наземными приёмниками. В связи с тем, что максимальная электронная концентрация, которая вносит основной вклад в ПЭС, располагается в слое F2, удобно рассматривать ионосферу как тонкий слой на высоте слоя F2. Поэтому для локализации возмущения мы использовали понятие ионосферная точка, которой называют точку пересечения максимума электронной концентрации ионосферы и луча, направленного от спутника до приёмника. В качестве высоты слоя F2 мы принимали высоту 350 км.

При помощи комплекса программных продуктов для построения вариаций полного электронного содержания были созданы карты ионосферных точек в день солнечного затмения на территории Соединенных штатов Америки по данным наземных станций ГНСС, доступных для анализа по адресам: <ftp://garner.ucsd.edu/pub/rinex/> и <http://geodesy.noaa.gov/corsdata/rinex>.

Карты ионосферных точек

В результате обработки данных были получены вариации ПЭС, которые впоследствии фильтровались скользящим средним с окном от 20 до 60 минут. были построены карты вариаций ПЭС (рисунок 3), по которым наглядно прослеживаются прохождение отрицательного возмущения вместе с тенью от Луны. За 15 минут до начала затмения (рисунок 3а), значительных возмущений не регистрируется. Есть небольшие отрицательные возмущения в северо-восточном районе, но они никак не связаны с затмением.

В свою очередь, спустя 15 минут (рисунок 3б) начинает регистрироваться отрицательное возмущение вблизи западного побережья Северной Америки. Именно там появляется тень от Луны (см. рисунок 2). Затем возмущение охватывает всю западную часть США и постепенно смещается в юго-восточном направлении (рисунки 3в-3е).

Следует сказать, что регистрируемое возмущение имело достаточно большую амплитуду (мы оценили её в единицы TECU), однако при фильтрации скользящим средним регистрируемая амплитуда снижается до величины порядка 1 TECU. Для более корректного анализа было бы целесообразно сравнить данные вариаций ПЭС по каждому лучу с аналогичными данными, которые были получены предыдущий день. Дело в том, что высота спутников GPS подобрана таким образом, чтобы повторять свою траекторию через сутки (период обращения спутника 11 часов 56 минут 4 секунды).

Геомагнитная возмущенность

Для анализа геомагнитной активности в день эксперимента использовались следующие геомагнитные индексы: Kp, Dst [3,4].

Кр индекс – планетарный индекс, характеризующий глобальную возмущённость магнитного поля Земли в трехчасовом интервале времени. Кр индекс имеет 28 значений в диапазоне от 0 до 9 (от 0 до 2 – тихо; 3, 4 – слабая активность; 5,6 – умеренный шторм; 7,8 – сильный шторм, 9 – экстремальный шторм). Индекс Dst уменьшается с ростом интенсивности бури (от -50 до -100 нТл – умеренная буря, от -100 до -200 – сильная буря).

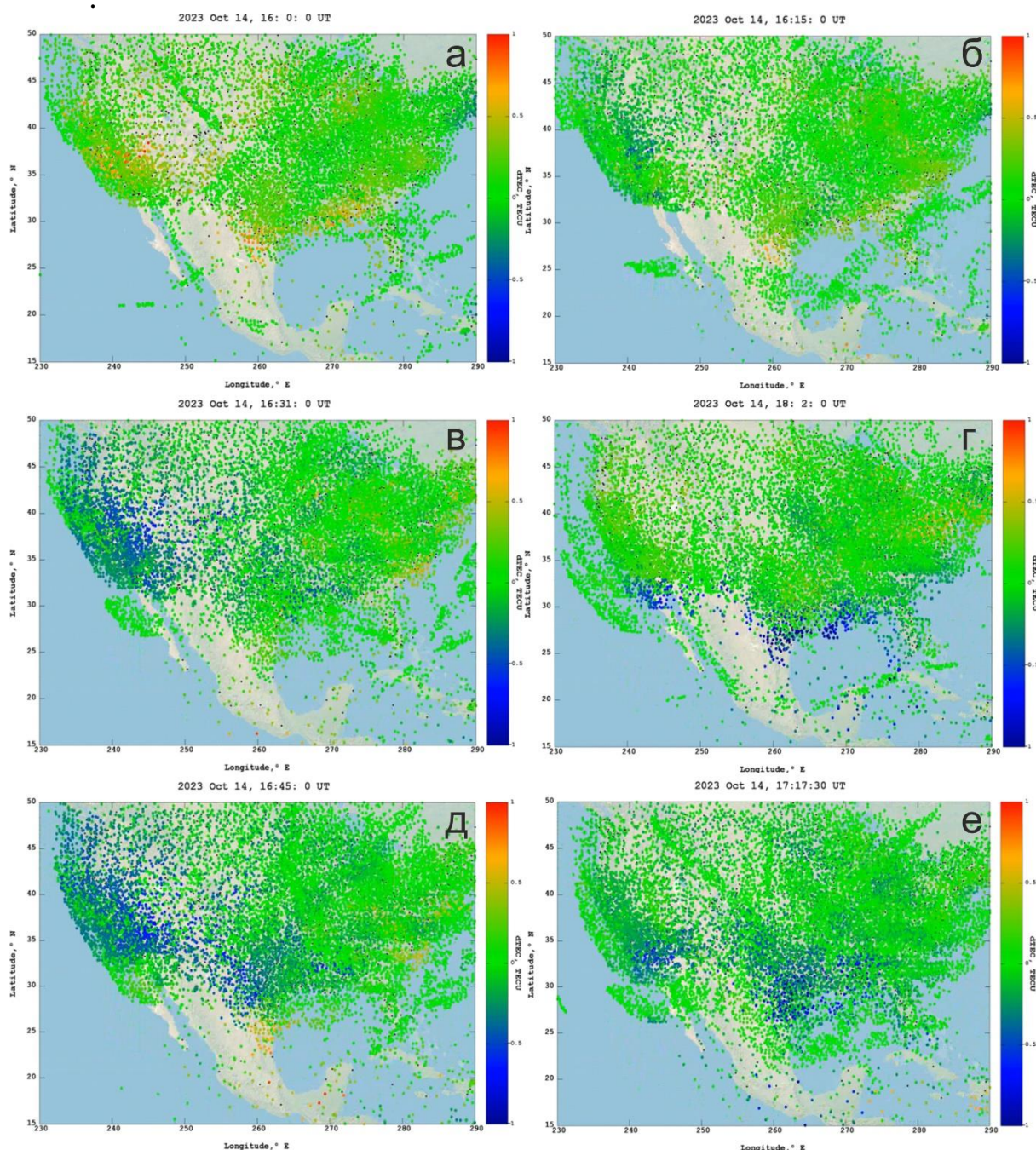


Рисунок 3. Карта ионосферных точек над Северной Америкой во время солнечного затмения для разных моментов времени. Цветом обозначен текущее отклонение вариаций ПЭС.

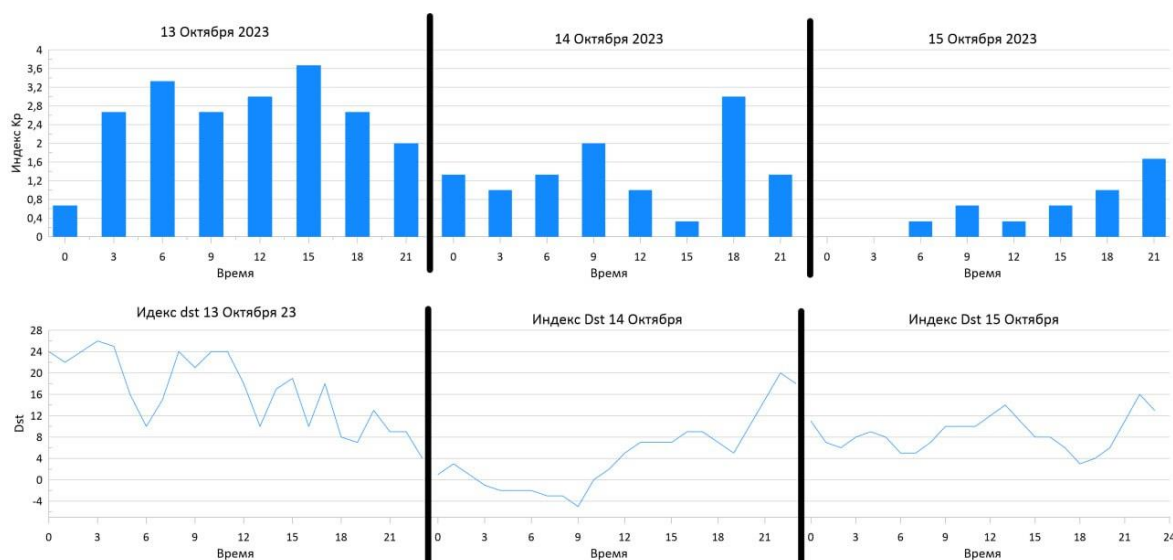


Рисунок 4. Значения индексов геомагнитной активности в день эксперимента и соседние дни.

Как можно видеть (рисунок 4) в день затмения была спокойная геомагнитная обстановка, индекс КР не превышал значения 3

Заключение

Анализ вариаций, регистрируемых во время солнечного затмения, позволил выявить уменьшения ПЭС в области прохождения тени. Размер возмущения составляет порядка 1500 километров. Максимальная амплитуда составила около 1 TECU.

В целом, регистрируемые эффекты затмения вполне соответствуют ожидаемым: отрицательное изменение ПЭС связано с уменьшением скорости ионизации, вследствие закрытия области от солнечного радиоизлучения [5].

Список литературы

1. Афраймович, Э. Л. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли / Э.Л. Афраймович, Н.П. Перевалова. – Иркутск: Изд-во НЦ ВСНЦ СО РАН, 2006. – 480 с.
2. Спутниковые системы навигации. Режим доступа URL: http://www.ecomgeo.com/articles/about_gnss.htm
3. Bartels J. The standardized index Ks, and the planetary index Kp. IATME Bull., No. 12b, Geomagnetic Indices K and C. 1949. 97-120.
4. Sugiura M. Hourly values of equatorial Dst for the IGY, Ann. Int. Geophys. Year, 35, 9-45, Pergamon Press, Oxford, 1964.
5. Исследования ионосферных возмущений методами GPS-радиозондирования в ИСЗФ СО РАН / Э. Л. Афраймович, Э. И. Астафьева, С. В. Воейков [и др.] // Солнечно-земная физика. – 2011. – № 18(131). – С. 24-39.

Отклик ионосферы на мощное землетрясение в Японии 1 января 2024 года по данным сети наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем

Агеев Р.В. , Воронов К.С. , Ишин А.Б.

r.ageev2019@yandex.ru, kirill.voronov.0500@mail.ru, ishin.artem@yandex.ru

Мощные землетрясения с неизбежностью приводят к ионосферным эффектам. 1 января 2024 года произошло землетрясение вблизи плотной наземной сети станций ГЛОНАСС и GPS. Указанное расположение позволило пронаблюдать азимутальную анизотропию возникающих ионосферных эффектов по данным полного электронного содержания.

Введение

Исследование воздействия землетрясений на окружающую среду с целью выявления закономерностей протекания этого природного явления проводится давно [1]. Исследование их интересно с научной точки зрения, но и, возможно, поможет в нахождении предвестников землетрясений.

Известно, что существует связь между процессами в литосфере Земли и возмущениями в ионосфере [2]. Сейсмическая активность в земной коре сопровождается не только геодинамическими процессами, но и интенсивным гидродинамическим, электромагнитным, радиоактивным, химическим воздействием очага землетрясения на атмосферу в целом и ионосферу в частности. При этом ионосфера можно сказать представляет собой "экран", на котором можно увидеть своеобразную картину развития землетрясения.

Поэтому рассмотрение воздействия землетрясений на ионосферу ведется давно, и имеется большое количество работ, посвященных этой проблеме [3].

Интересными с точки зрения исследования всегда представляются события, которые происходят вблизи инструментов диагностики ионосферы.

Одним из наиболее информативных инструментов исследования ионосферы является совокупность всех спутников и наземных приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС). Каждый наземный приемник в каждый момент времени регистрирует сигналы от 6 до 10 спутников каждой из систем: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, Compass и др. При этом в мире существует несколько плотных сетей наземных станций, данные которых находятся в свободном доступе в интернете.

Исследуемое событие

Одна из наиболее плотных (если не самая плотная) сетей станций ГНСС приемников находится в Японии [4]. Так на 1 января 2024 года действовало 1308 станций, регистрирующих одновременно сигналы систем ГЛОНАСС и GPS (рис. 1). При этом сама Япония расположена в очень сейсмоактивном регионе (на границе тектонических плит), где постоянно регистрируется большое количество толчков землетрясений. Так начиная с 1

января 2000 г. по 1 апреля 2024 г. только толчков с магнитудой больше 7.3 было зарегистрировано 16 шт. (см. рисунок 1).

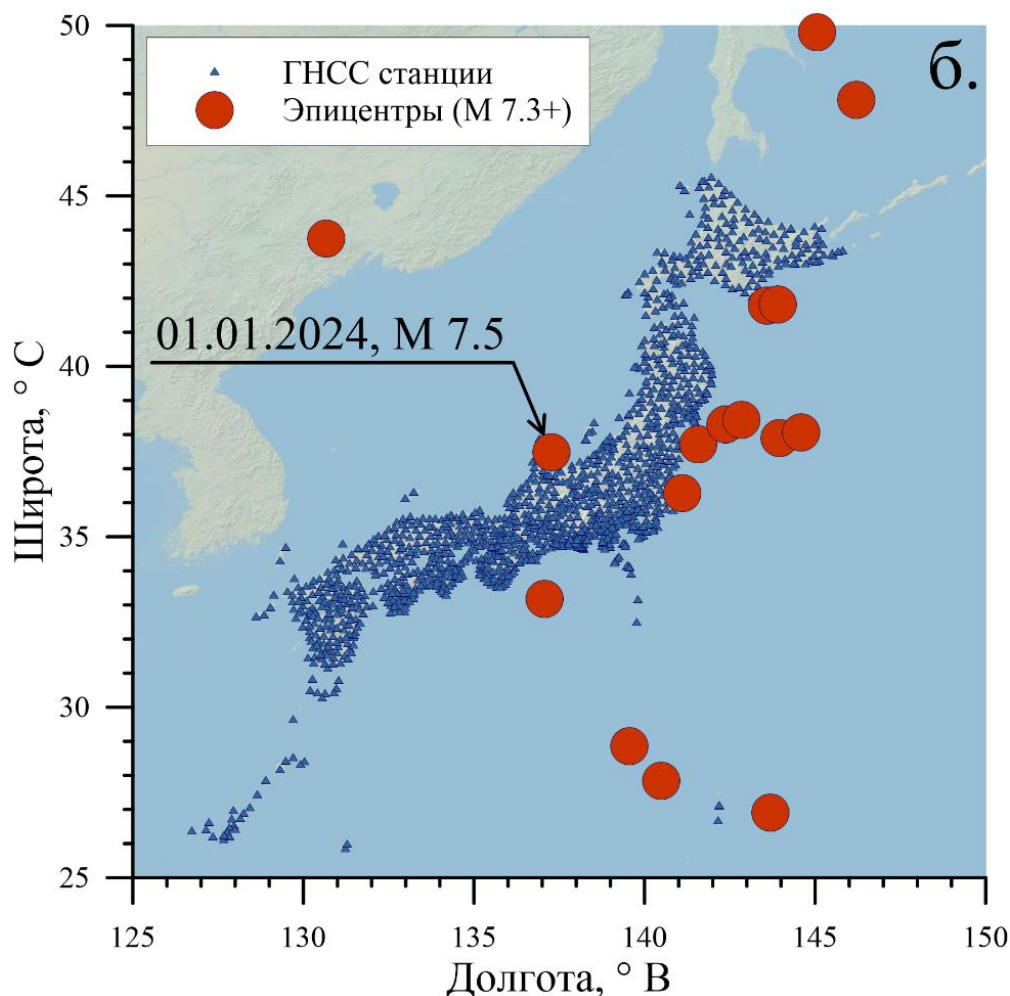


Рисунок 1. Взаимное расположения наземных постоянно действующих станций ГНСС и эпицентров землетрясений с магнитудой более 7.3, произошедших в 21 веке.

Самым известным и наиболее изученным событием является печально известное землетрясение 2011 г. магнитудой 9.0 произошедшее близ региона Тохоку, в результате которого погибли и пропали без вести тысячи людей, разрушено большое количество зданий и произошла авария на АЭС «Фукусима 1» [5].

Однако, как мы можем видеть, практически все землетрясения происходили юго-восточнее или восточнее расположения основных наземных станций. Поэтому изучение ионосферного отклика происходило для этих землетрясений в ограниченном азимутальном секторе относительно эпицентра.

1 января 2024 года в Японском море произошло землетрясение магнитудой 7.5 (по другим данным 7.6) [6]. Это землетрясение ещё называют землетрясение в Ното (по названию полуострова). Расположено оно было в точке

с координатами 37.487° N 137.271° E (см. рис. 1). Время толчка 7 часов 10 минут 9 секунд по UT. В целом, любое землетрясение является уникальным, и отклик на каждое из них индивидуален. Но данный толчок произошел практически в центре сети станций, что любопытно с точки зрения изучения азимутальной анизотропии возникающих ионосферных эффектов.

Геомагнитные условия

Во время землетрясения геомагнитные условия были спокойными (рис.2). Спустя 7 часов регистрировалась слабая геомагнитная активность: Кр достигал значения 4.0, Dst упал до -27 nT, для индекса АЕ регистрировались возмущения порядка 700 nT.

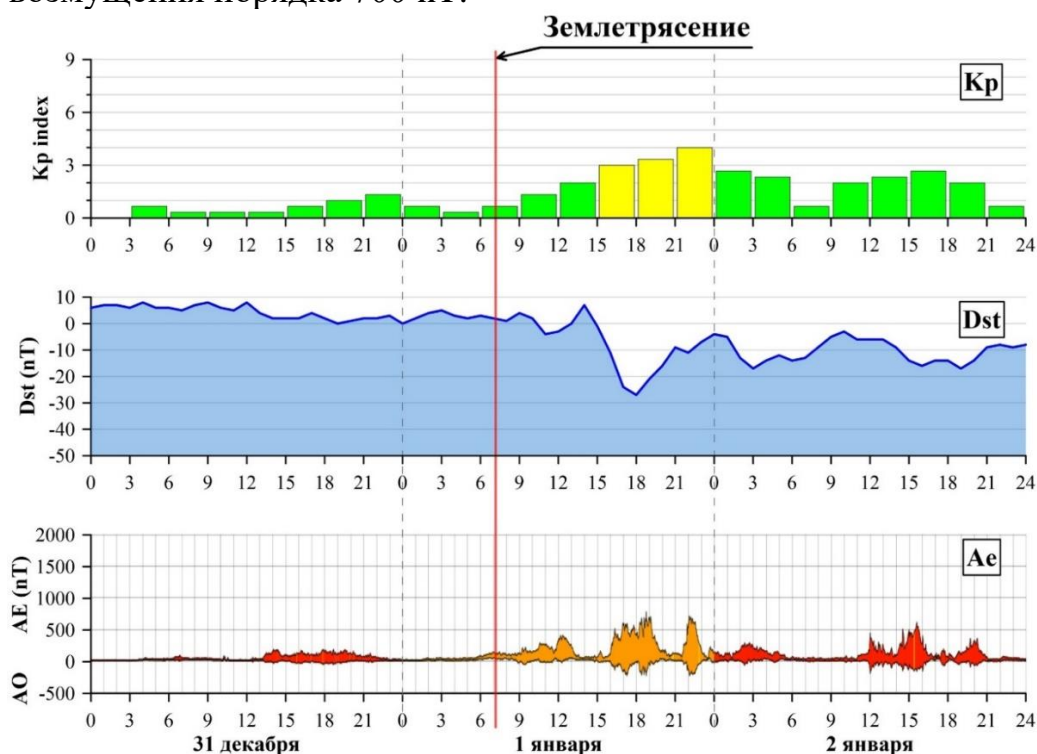


Рисунок 2. Значение индексов Кр (верхняя панель), Dst (средняя панель) и Ae (нижняя панель) в день землетрясения, предыдущий и последующий дни.

Инструмент исследования ионосферного отклика

Одной из главных характеристик состояния ионосферы является полное электронное содержание (ПЭС, в англоязычной литературе – ТЕС, Total electron content) – количество свободных электронов, находящихся в столбе единичного сечения (1 м^2), на пути распространения сигнала от спутника до приемника. Данная величина измеряется в TECU (Total Electron Content Unit – единица полного электронного содержания), $1 \text{ TECU} = 10^{16} \text{ м}^{-2}$. ПЭС определяется по задержке радиосигнала, проходящего через ионосферу. Передача сигнала на двух частотах позволяет учесть данный эффект, что используется для компенсации ионосферного влияния в ГНСС.

Определение ПЭС происходит по фазовым измерениям на двух частотах [7].

$$I_p = \frac{1}{40.308} \frac{f_1^2 f_2^2}{f_1^2 - f_2^2} [(P_2 - P_1) + \sigma P + \delta P] \quad (1)$$

где P_1, P_2 – групповые пути для частот соответственно f_1 и f_2 , σP – случайная ошибка измерения дальности по коду, δP – систематическая ошибка измерения дальности по кодовым измерениям, обусловленная в основном дифференциальными кодовыми задержками $\delta P = c \Delta t$, где Δt – ДКЗ, c – скорость света.

Учитывая, что ПЭС, это интегральная величина, т.е. количество электронов на всем пути распространения сигнала от спутника до приемника, то нельзя однозначно сопоставить наблюдаемые вариации ПЭС с конкретной областью пространства. Для того, чтобы как-то проводить анализ считают, что ионосфера является тонким слоем заряженных частиц (т.е. все заряженные частицы как бы спрессовывают в тонкий сферический слой). Понятно, что максимальный вклад в ПЭС вносит область вблизи максимума электронной концентрации, т.е. вблизи слоя F2. Обычно предполагается, что и в вариации ПЭС наибольший вклад вносит область с максимальной концентрацией электронов. Как следствие, для высоты условной модельной тонкой ионосферы выбирают высоту вблизи области F2. В нашей работе мы проводили расчет для высоты ионосферы в 300 км. При прохождении луча сквозь тонкую ионосферу возникает понятие «ионосферная точка», т.е. точка проникновения (penetration point) луча.

Вариации ПЭС, вычисляемые по формуле (1) не являются абсолютным значением ПЭС, а определяются с точностью до константы. Поэтому, при использовании фазовых измерений, мы можем говорить только об изменениях ПЭС. Кроме того, следует учитывать геометрию распространения луча «спутник-приемник», потому что спутник не висит в одном месте (не является геостационарным), а появляется над горизонтом, поднимается и через несколько часов вновь уходит за горизонт. При этом для лучей со спутников, находящихся вблизи горизонта, эффективная «толщина» ионосферы будет больше, потому что большая часть траектории луча находится внутри ионосферы. Указанный эффект приводит к появлению долговременного тренда вариаций ПЭС (рис. 2), который следует учитывать.

Эффективным способом избавления от долговременного тренда является фильтрация. Фильтрация проводилась методом скользящего среднего в диапазоне 2-10 минут. Таким образом после фильтрации можно было анализировать только те вариации в данных ПЭС, которые были в указанном диапазоне периодов.

Карты вариаций ПЭС

В результате обработки данных были получены ряды вариаций ПЭС для всех станций и всех видимых спутников. После фильтрации указанных

рядов для каждого момента времени было проведено сопоставление амплитуды вариаций ПЭС с ионосферной точкой. Если все точки конкретного момента разместить на карте, и построить последовательность карт, то можно наблюдать развитие возмущения в динамике.

Для нашего события были построены последовательности карт ионосферных точек (рис. 3). Как мы можем видеть, развитие ионосферного отклика идет происходит в южном направлении в виде положительной и отрицательной полуволны (рис. 3, панель б, в).

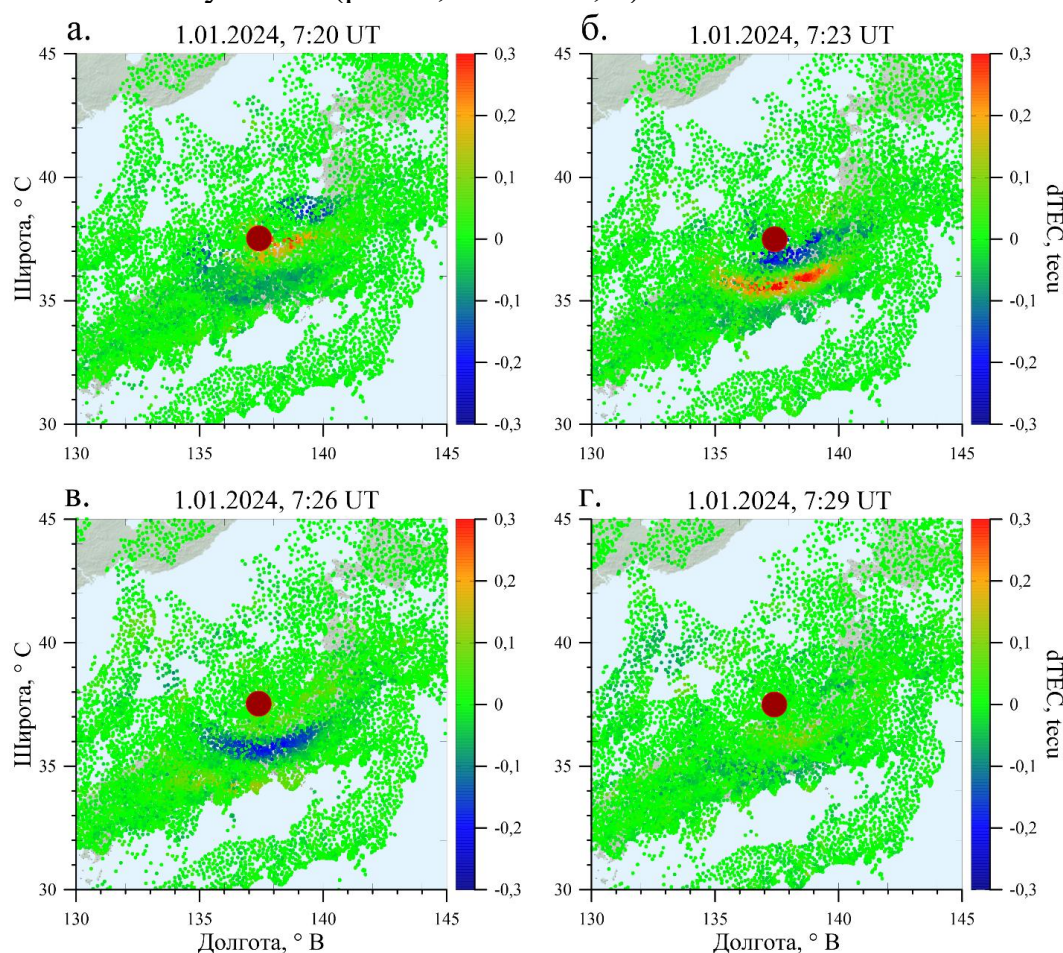


Рисунок 3. Положение ионосферных точек спустя 10, 13, 16 и 19 минут после основного толчка землетрясения. Цветом ионосферной точки обозначено текущее значение отфильтрованных вариаций ПЭС.

Любопытно, что одновременно не регистрируется аналогичная волна в северном секторе (рис. 3, панель б-г). Амплитуда возмущения составила порядка 0.3 TECU.

Для определения скоростей распространения возмущения и дальности, на которой эти возмущения регистрировались, были построены диаграммы «дальность-время» (рис. 4). Для этого, были посчитаны азимуты, расстояния от эпицентра для каждой ионосферной точки. Затем в координатах дальность - время располагаются все ионосферные точки выбранного сектора, а цветом точки обозначается значение отфильтрованных вариаций

ПЭС для данного момента. Для анализа были взяты южный и северный азимутальные сектора. Ширина каждого сектора составляла 60 градусов (азимуты 150-210° для южного сектора и 330-30° для северного сектора).

Как можно заметить (рис. 4), для северного азимутального сектора (панель в, г) возмущение регистрируется лишь вблизи к эпицентру, т.е. не далее, чем 100 км. При этом для южного азимутального сектора (панели а, б), распространение основной волны происходит до расстояния в 450-500 км.

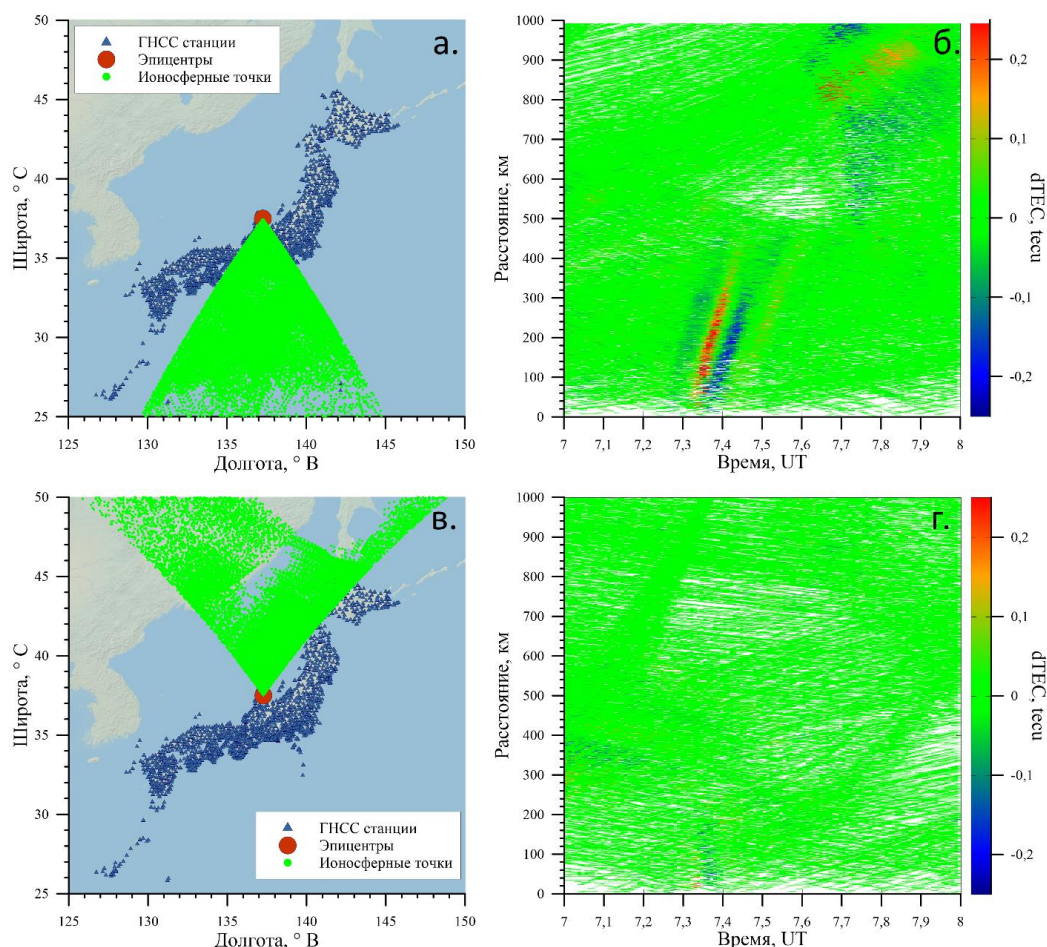


Рисунок 4. Диаграммы дальность-время (панели б, г) и соответствующее положение ионосферных точек (панели а, в). Цветом ионосферной точки обозначено текущее значение отфильтрованных вариаций ПЭС.

Ещё любопытный факт: спустя 30-40 минут регистрировались возмущения в дальней зоне: 500-1000 км (рис. 4, правый верхний угол панели б). Судя по всему, эти эффекты так же были вызваны распространением возмущения в атмосфере от землетрясения. Исходя из угла наклона линии возмущения (рис. 4), можно проанализировать скорость распространения возмущения. Так мы видим, что за 6 минут (0.1 часа), возмущение распространялось примерно на 200 км. Т.е. скорость составила 33 км/мин, или 550 м/с.

Заключение

В ходе выполненного исследования было произведен анализ вариаций ПЭС над территорией Японии, регистрируемых после землетрясения в Японском море 1 января 2024 года. В качестве исходных данных были взяты данные наземных приемников ГНСС японской сети GEONET.

По данным измерения фазы на двух частотах были посчитаны вариации ПЭС, которые для удаления долговременного тренда фильтровались в диапазоне периодов 2-10 минут. В дальнейшем для каждого момента времени были посчитаны карты ионосферных точек (высоту условной тонкой ионосферы считали 300 км), и построены карты возмущений.

Во время землетрясения геомагнитные условия были спокойными. Спустя 7 часов регистрировалась слабая геомагнитная активность: Кр достигал значения 4.0, Dst упал до -27 нТ, для индекса АЕ регистрировались возмущения порядка 700 нТ.

Карты ионосферных точек показали, что волна возмущений вариаций ПЭС появляется спустя 10 минут после толчка и регистрируется в течение 40 минут. Волна распространяется в южном направлении (но не отсутствует северном). Таким образом наблюдается азимутальная анизотропия возмущения, относительно положения эпицентра землетрясения. Амплитуда возмущения составила примерно 0.35 TECU. Скорость распространения возмущения составила 550 м/с до расстояния 500 км. Позже (спустя 30-50 минут после толчка) регистрировались возмущения в дальней зоне (500-1000 км).

Список литературы

1. Сергеева Н.Г. Сильные землетрясения и их влияние на полярную нижнюю ионосферу / Сергеева Нелли Геннадьевна, Оглоблина Ольга Фёдоровна, Черняков Сергей Михайлович // Вестник МГТУ. 2009. №2. С. 328–337.
2. С.А. Пулинец. Комплексная модель связи литосфера-атмосфера-ионосфера / С.А. Пулинец. // Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В. Пушкова РАН (ИЗМИРАН) – С. 344–349.
3. Кузнецов В.В. Ударно-волновая модель землетрясения / Кузнецов В.В. // Физическая мезомеханика, 2009. – С. 87-96.
4. ГНСС станции в Японии. Режим доступа URL: <https://earth-planetspace.springeropen.com/articles/10.1186/s40623-023-01787-7> (Дата обращения 4.05.2024)
5. Тихонов М.Н. Антология катастрофы на японской атомной станции «Фукусима-1» // Анализ риска здоровью. 2015. №1 – С. 87-96 .
6. Землетрясение в Японии 2024 года. Режим доступа URL: <https://www.geeksforgeeks.org/japan-earthquake-2024-causes-death-and-impact/> (Дата обращения 6.05.2024)
7. Афраймович Э.Л. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли / Э.Л. Афраймович, Н.П. Перевалова – Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН. 2006. – 480 с.

Создание автоматизированной системы управления термошкафом для обработки резиновых деталей летательных аппаратов

Свешников Д.А., Ченский А.Г.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

dmitriysvshnikov@gmail.com, chens-01@yandex.ru

Автоматические системы являются основой современной промышленности, это позволяет оптимизировать производство и улучшить контроль качества. В данной работе описывается создание такой автоматизированной системы, а именно системы управления термошкафом предназначенным для термической обработки резиновых деталей. Показано как данная система функционирует и поддерживает заданные параметры.

Введение

Ни одно современное производство не может обойтись без автоматизированных систем, это позволяет как оптимизировать производство, так и повысить его безопасность.

Наша задача заключается в разработке автоматизированной системы управления для термоизолированного шкафа, способного нагревать и поддерживать заданную температуру в определённых временных рамках. Эффективное функционирование системы требует применения высококачественных компонентов и программного обеспечения. Все используемые измерительные приборы должны быть сертифицированы единой системой средств измерений. А также используемый софт должен обладать всей необходимой документацией и наличием технической поддержки.

Описание конфигурации оборудования

Данная система, как и любая другая промышленная система, состоит из железной и программной части. Железная часть представляет из себя связку ведущих и ведомых устройств, связанных между собой протоколом связи RS-485. Ведущим устройством в системе является компьютер с установленным на него программным обеспечением, позволяющим оператору управлять всей системой. ПК связан непосредственно с Термодатом и АЦП. Термодат управляет нагревателем через реле, сверяя данные с датчиком температуры. АЦП, в свою очередь, так же снимает данные с датчика температуры, но уже для подсчета отклонений температуры по всему объему термошкафа. Схема данного устройства представлена на рисунке 1.

Оборудование

Рассмотрим оборудование, используемое при создании данной системы:

Терморегулирующее устройство «Термодат 17Е6»

Термодат-17Е6 – это multifunctional устройство для измерения и контроля температуры по нескольким каналам, предназначенное для управления температурными режимами в соответствии с программными установками. Оно поддерживает ПИД-регулирование и двухпозиционное управление, а также оборудовано универсальными входами для подключения различных типов датчиков. Данный прибор остро реагирует на изменения температуры и подстраивается для удержания заданных параметров, что позволяет держать отклонения температуры в пределах заданных $\pm 5^{\circ}\text{C}$.

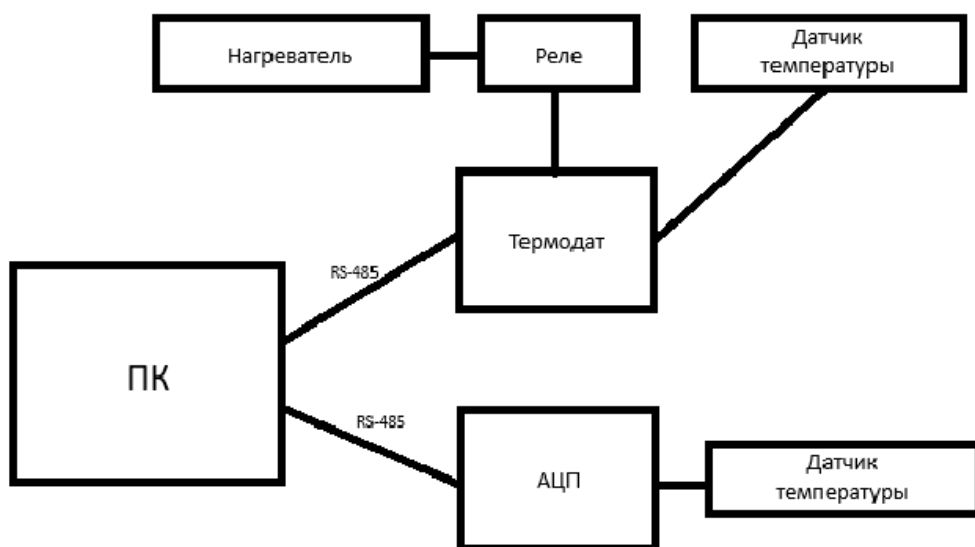


Рисунок 1 – схема конфигурации оборудования для управления термошкафом

Аналого-цифровой преобразователь «ОВЕН МВ110-224.2А»

Данный прибор разработан для снятия аналоговых сигналов с помощью встроенных аналоговых входов, преобразования измерений в соответствующие физические значения и их последующей отправки по сети RS-485.

Управляющие реле «Овен ПР-100»

ПР100 – это компактное программируемое реле, идеально подходящее для использования в местных системах автоматизации. Оно разработано для управления освещением, насосными установками, вентиляторами, лифтами, станками, а также применяется в задачах релейной защиты и автоматического ввода резерва (АВР).

Компьютер оператора

Компьютер оператора должен беспрепятственно работать со всем программным обеспечением необходимым для реализации программы, поэтому был взят ПК на современной платформе от Intel.

Термошкаф

Термошкаф представляет собой термоизолированный многослойный короб из внутренняя часть выполнена из нержавеющей стали, утеплителя. Данный шкаф оснащен нагревающей системой и системой вентиляции, предназначенной для поддержания заданной температуры воздуха по всему внутреннему объему. Так же он оснащен несколькими термическими датчиками, часть из которых корректирует работу термодата, а другие передают данные для анализа.

Описание программы

Программная работа выполняется несколькими программами, некоторые используются лишь единожды и предназначены для первичной настройки, а другие используются каждый раз при запуске системы. На рисунке 2 приведена схема, описывающая связи между блоками программы, описанными ниже.

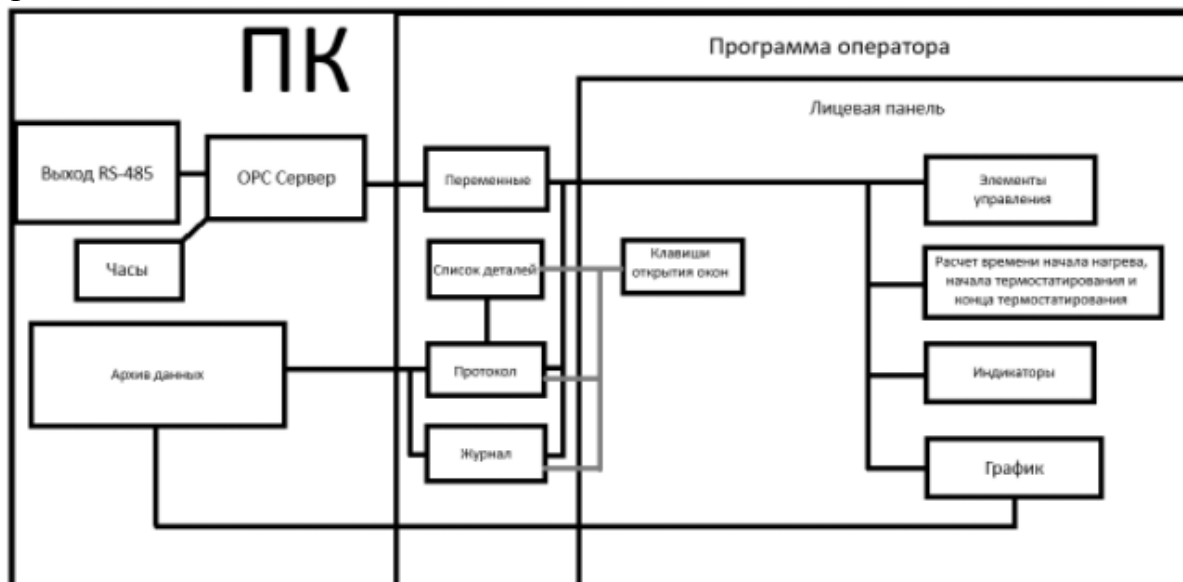


Рисунок 2 – схема программы

Используемое ПО

ThermodatNet

Данное программное обеспечение, предназначенное для конфигурации устройств серии Термодат. Оно позволяет пользователям настраивать параметры работы термодатов, программировать температурные режимы и управлять данными в реальном времени.

В данном программном обеспечении были сконфигурированы режимы, заданные в техническом задании на данную систему. Данная операция выполняется единожды, поэтому в дальнейшем программа не используется.

Среда разработки

MasterSCADA 4D является современной SCADA-системой, разработанной российской компанией "Инсат" для создания систем автоматизации, мониторинга и управления производственными процессами в различных отраслях промышленности. SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) системы используются для сбора данных с различных устройств и машин на производстве, их анализа, а также для контроля и управления процессами.

MasterOPC

Связь с компьютера с ведомыми устройствами осуществляется с помощью протокола RS485, но это лишь стандарт физического уровня, а программные стандарты могут быть разные, поэтому в данной системе используется OPC сервер. MasterOPC — это сервер OPC (OLE for Process Control), разработанный компанией "Инсат". OPC сервер предназначен для обеспечения связи между различными программными и аппаратными компонентами автоматизированных систем, осуществляя роль посредника в обмене данными.

Программа управления

Лицевая панель

Лицевая панель предназначена для навигации работника по функционалу управляющей программы. На ней отражены такие элементы управления как: клавиши старт, стоп, пуск и список режимов, из которых работник будет выбирать для обработки определенных изделий. Также присутствуют графики процесса, показывающие процесс обработки в виде зависимости температуры от времени, различного рода индикаторы, как сигнализирующие об этапе процесса термостатирования, так и аварийные.

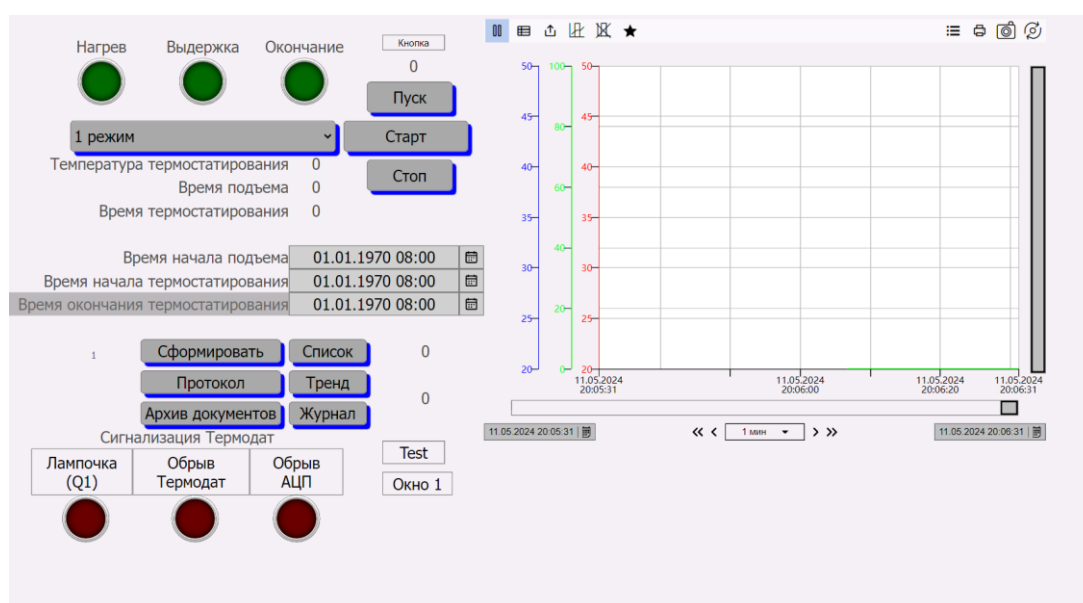


Рисунок 3 – Лицевая панель программы

Дизайн лицевой панели должен быть сдержан и максимально понятен любому человеку, поэтому мы стараемся убрать лишние элементы с главного окна лицевой панели. Преследуя данную цель, мы сделали вторичные окна, в которых разместили: протокол, список деталей, архив данных, и журнал.

Окна

Список деталей – это форма, которую работник должен заполнять перед каждой загрузкой.

Необходимо ввести данные о загрузке и инициалы работников, проводивших контроль за протеканием процесса термостатирования.

Протокол – это документ, который формируется по нажатию клавиши «Сформировать» на лицевой панели. Он автоматически заполняет себя информацией о загрузке, ответственных лицах за технологический процесс, а также данными о процессе термостатирования: неравномерность нагрева объема термошкафа, время начала нагрева, термостатирования и окончания технологического процесса. Этот документ отправляется в архив данных.

Журнал – это программа, записывающая все события в системе, а именно действия работника и, конечно, различные неполадки или аварийные ситуации. Так же при регистрации данной системой отклонений способных привести к аварии, система автоматически отключает устройство от сети и делает соответствующие записи. Все данные о процессе сохраняются в архиве данных.

Архив данных – это клавиша открывает папку со всеми данными, собранными о проводившихся работах. Это позволяет быстро сориентироваться и найти необходимую отчетную документацию к тому или иному технологическому процессу.

Элементы управления

Элементы управления так же должны быть просты и удобны в использовании, поэтому у нас в системе их всего четыре: Клавиши старт, стоп, пуск и выпадающий список режимов.

Выпадающий список режимов – позволяет выбрать один из нескольких режимов термостатирования представленных в техническом задании. Каждый из режимов обладает своим определенным временем подъема и выдерживания температуры.

Клавиши «Старт» и «Стоп» выполняют свои прямые назначения, а именно запускают и останавливают технологический процесс. Остановка системы во время технологического процесса расценивается как аварийная, соответствующая запись появится в журнале событий.

Клавиша «Пуск» создана специально для режимов, где необходимо делать загрузку в разогретую печь. Программа, дойдя до температуры термостатирования останавливает таймер, после чего работник совершает загрузку и

нажимает на клавишу «Пуск», чтобы запустить таймер для выдерживания деталей заданное время.

Индикаторы

Индикаторы добавлены с целью наглядной демонстрации состояния системы для упрощения понимания и максимально быстрого принятия решений.

Индикаторы стадии процесса обработки – сигнализируют на каком этапе находится технологический процесс. Этих этапов всего три: нагрев, выдержка и завершение процесса. Также при завершении процесса на экране появляется соответствующее уведомление.

Индикаторы сигнализации – сигнализируют о технических неполадках в системе, преимущественно связанных с нарушением связи между ведущим и ведомыми устройствами. «Обрыв термодат» - сигнализирует об отсутствии связи с терморегулирующим устройством, соответственно запуск системы не возможен. «Обрыв АЦП» - соответственно сигнализирует об отсутствии связи с контролирующим элементом системы, запуск системы так же не представляется возможным.

График технологического процесса

График представляет собой зависимость температуры от времени. Он наглядно показывает, как проходит технологический процесс, то есть на нем можно проследить все этапы процесса термостатирования, такие как: нагрев, выдержка и завершение работы. Данные графики так же сохраняются в архив данных, но уже в двух видах: графическом и табличном. Табличный вид позволяет более точно отследить некоторые события или отклонения.

Тест системы

Был запущен режим, в котором системе нужно за неопределенный отрезок нагреть термошкаф до 120 °С и удерживать данную температуру в течение 30 минут. Технологический процесс изображен на рисунке 4.

Вы можете увидеть, как проходил процесс нагрева, который длился примерно 15 минут. На 15 минуте график преодолел отметку нижнего порога, а значит система переходит в область, где будет проходить термостатирование. Именно с этого момента система показывает, что переходит в режим удержания температуры.

Далее термодат доводит температуру до заданных 120 градусов и оставшееся время удерживает ее в заданных пределах. Как вы видите, с момента перехода в режим удержания и до конца процесса прошло ровно 30 минут, это ровно столько, сколько было задано.

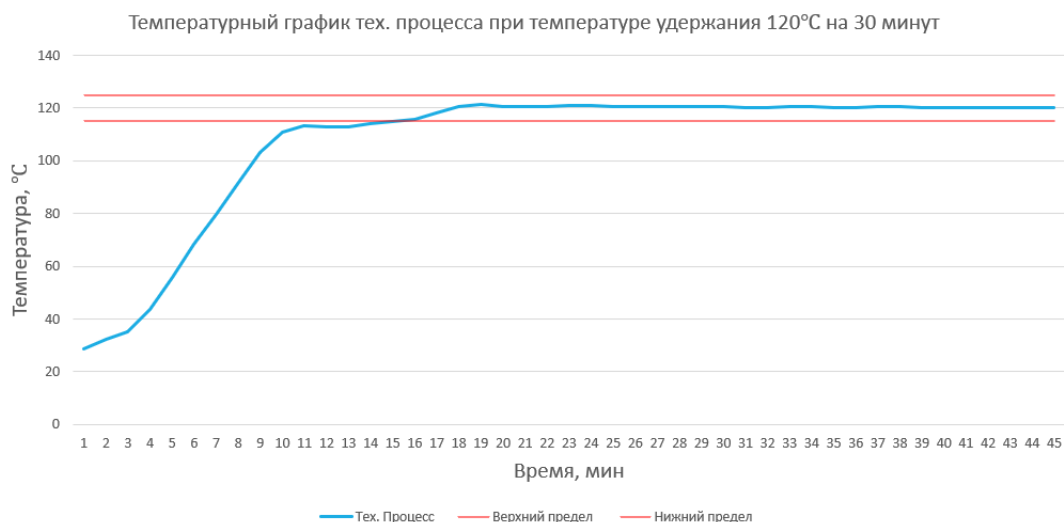


Рисунок 4 – График технологического процесса

Заключение

В результате, данная система зарекомендовала себя как эффективное и очень стабильное решение, позволяющее с отличной точностью проводить термическую обработку резиновых деталей летательных аппаратов. Она полностью соответствует критериям технического задания заказчика.

Список литературы

- 1.Руководство пользователя термодат -17Е6 (33 страницы): сайт. -Москва, 2017.- URL : <https://termodat.pro-solution.ru/wp-content/uploads/2019/12/78.pdf> (Дата обращения: 12.05.2024). – Текст: электронный.
2. Руководство по эксплуатации: «Управляющее многофункциональное устройства ПР100» (46 страниц): сайт. -Москва, 1991. – URL: https://owen-shop.ru/upload/iblock/8d8/d3tno809ck2ij21k0gn8lrfoxdgncq5u/re_pr100_1_ru_49752_1.55.pdf (Дата обращения: 12.05.2024). – Текст: электронный.
3. Руководство по эксплуатации: «Модуль аналогового ввода MB110 224.2А» (62 страницы): сайт. -Москва, 1991. – URL: https://owen.ru/uploads/328/kratkoe_opisanie_masterscada_4d.pdf (Дата обращения: 12.05.2024). – Текст: электронный.
4. Краткое описание Mastescada 4d (12 страниц): сайт. -Москва, 2002. – URL : <https://support.mps-soft.ru/Site/MasterSCADA%204D/Datasheet%20MasterSCADA%204D.pdf> (Дата обращения: 12.05.2024). – Текст: электронный.
5. Описание программы TermodatNet (20 страниц): сайт. Ижевск, 2012. – URL: https://smartengineer.ru/sites/default/files/product_documents/2018-07/3537.pdf (Дата обращения: 12.05.2024). – Текст: электронный.

Исследование ионосферных возмущений, вызванных сверхтяжёлой космической ракетой Falcon Heavy 11 апреля и 25 июня 2019 г., по данным сети GEONET

С.В. Климин, А.Б. Ишин

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
stas.klimin@inbox.ru, ishin.artem@yandex.ru

По данным GPS-измерений на плотной сети станций глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) исследованы возмущения полного электронного содержания (ПЭС), сопровождавшие запуски сверхтяжёлой ракеты носителя Falcon Heavy 11 апреля и 25 июня 2019 г., с космического центра имени Кеннеди во Флориде, США. Построены и проанализированы двумерные пространственные распределения возмущений ПЭС, карты поля скоростей перемещения ионосферных возмущений, а также диаграммы дальность - время, отражающие эволюцию отклика ионосферы на техногенное воздействие. В результате изучения пространственной картины распределения ПЭС выявлены перемещающиеся ионосферные возмущения (ПИВ) двух типов, близких по форме к кольцевым волнам, расходящимся из эпицентра. ПИВ в ближней зоне регистрировались спустя 5 минут после запуска ракеты в обоих днях исследований, имели длину волны около 1900 км 25 июня 2019 г., и распространялись со средней скоростью 1319 м/с. Возмущения в дальней зоне были соответственно 600 км и 1200 для 11 апреля и 25 июня 2019 года.

Введение

Запуск корабля Falcon Heavy 11 апреля и 25 июня 2019 г. (22:35 и 6:30 UT). Как мы уже говорили выше, в 2019 году ракета Falcon Heavy выполнила два запуска.

Исходными данными являлись ряды вариаций «наклонного» ПЭС, рассчитанного вдоль луча «приемник – спутник GPS», а также ряды значений азимута $a_{\zeta}(t)$ и угла места $\theta_{\zeta}(t)$ спутника GPS. Для анализа отбирались непрерывные ряды длительностью не менее 2,3 ч. По известным значениям $a_{\zeta}(t)$, $\theta_{\zeta}(t)$ 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 (Klobuchar, 1986). 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 (Афраймович,

Перевалова, 2006), суть которого заключается в следующем. Для расчета скорости и направления движения перемещающихся ионосферных возмущений (ПВ) 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 ПВ.

В нашей работе мы рассматриваем запуски сверхтяжелых ракет-носителей, как достаточно мощное антропогенное воздействие на ионосферу. 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 были выбраны запуски 2019 года 11 апреля и 25 июня сверхтяжёлой ракеты-носителя Falcon Heavy.

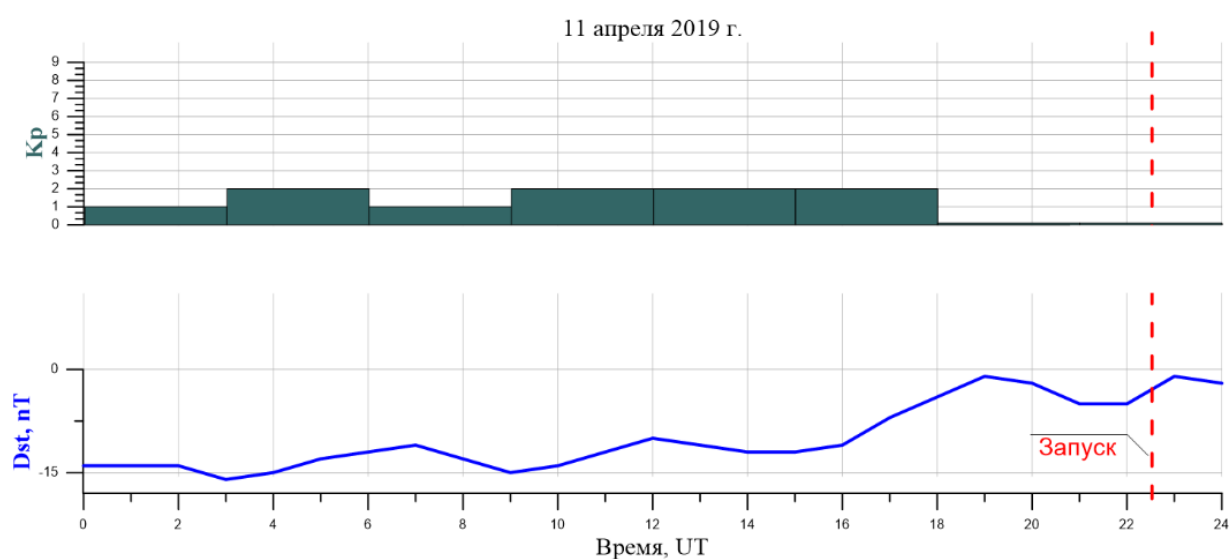


Рисунок 1 – Геомагнитная обстановка 11 апреля 2019 г.

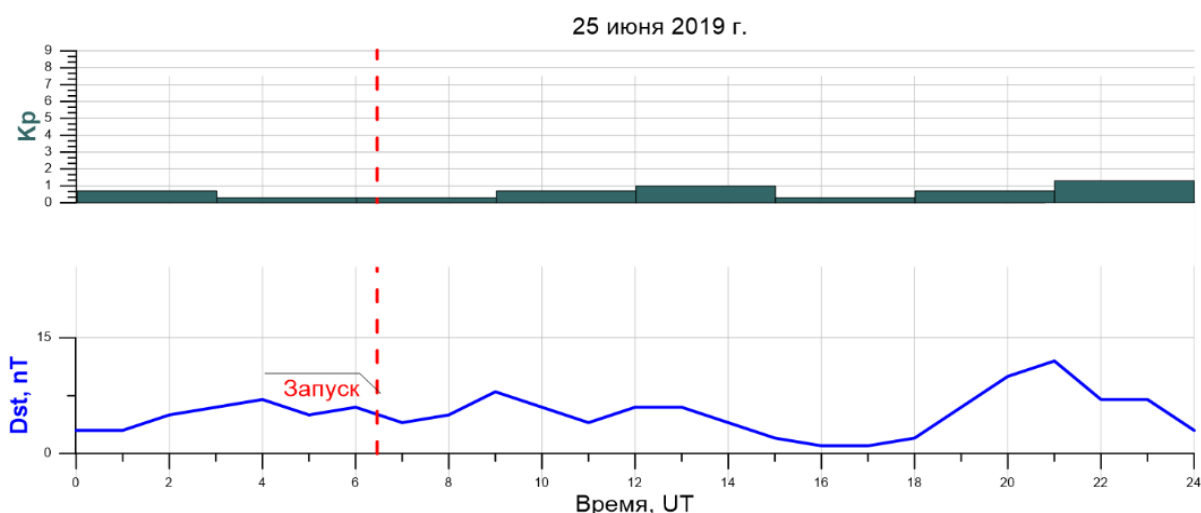


Рисунок 2 – Геомагнитная обстановка 25 июня 2019 г.

Исходя из полученных значений геомагнитных индексов, мы можем сказать, что состояние ионосферы было спокойным. При невозмущенной геомагнитной обстановке наблюдаются малые по амплитуде фоновые вариации ПЭС. Спокойное состояние ионосферы позволило нам обнаружить и проанализировать возмущения, полученные после запуска ракеты Falcon Heavy.

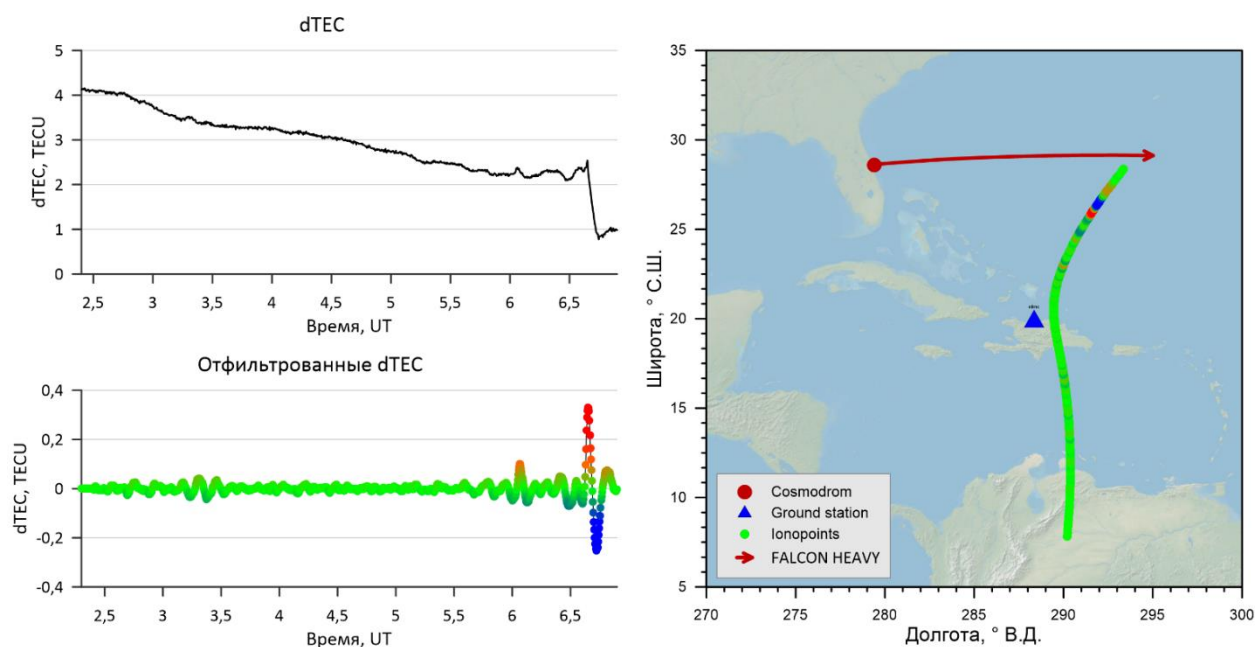


Рисунок 3 – Отфильтрованные и неотфильтрованные вариации ПЭС (левая часть), и соответствующие этим измерениям ионосферные точки на карте эксперимента (правая часть). Цветом ионосферной точки указано значение отфильтрованных ПЭС на луче спутник-приемник: красным – положительное возмущение, синим – отрицательное для запуска 25 июня 2019 г

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 обоих запусков. Изучение параметров и свойств ионосферных возмущений, вызванных этими запусками Falcon Heavy продолжается. В настоящей работе представлены результаты регистрации возмущений полного электронного содержания (ПЭС), обусловленных запусками 11 апреля и 25 июня 2019 г., 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. К сожалению, в океане 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 4)

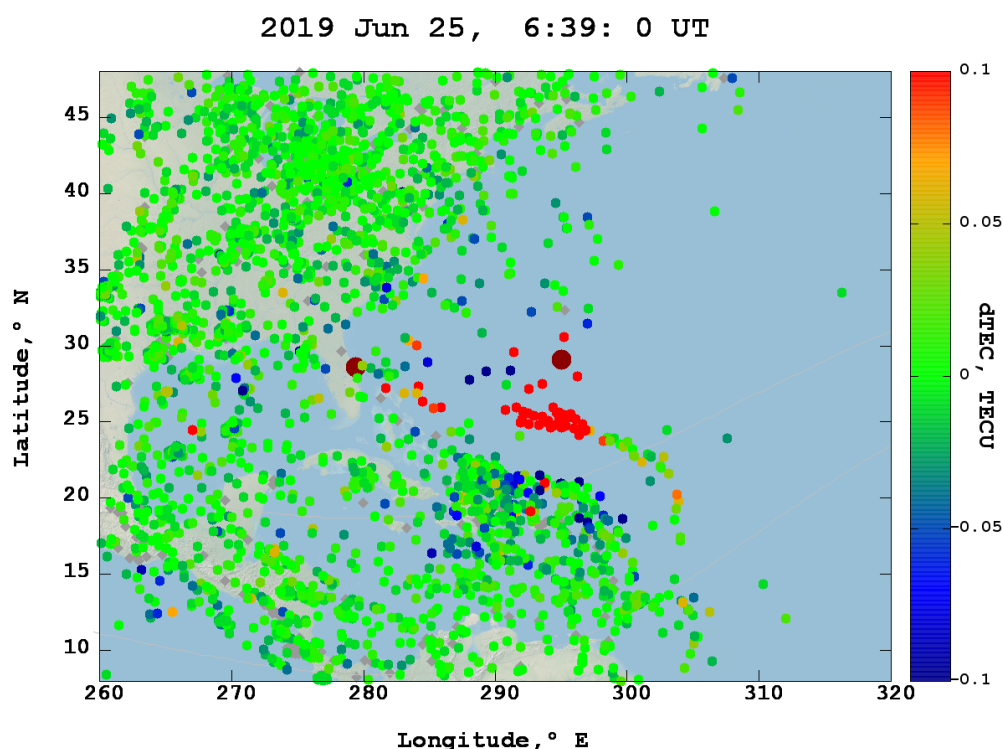


Рисунок 4 – Возмущения электронной концентрации в ПЭС

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

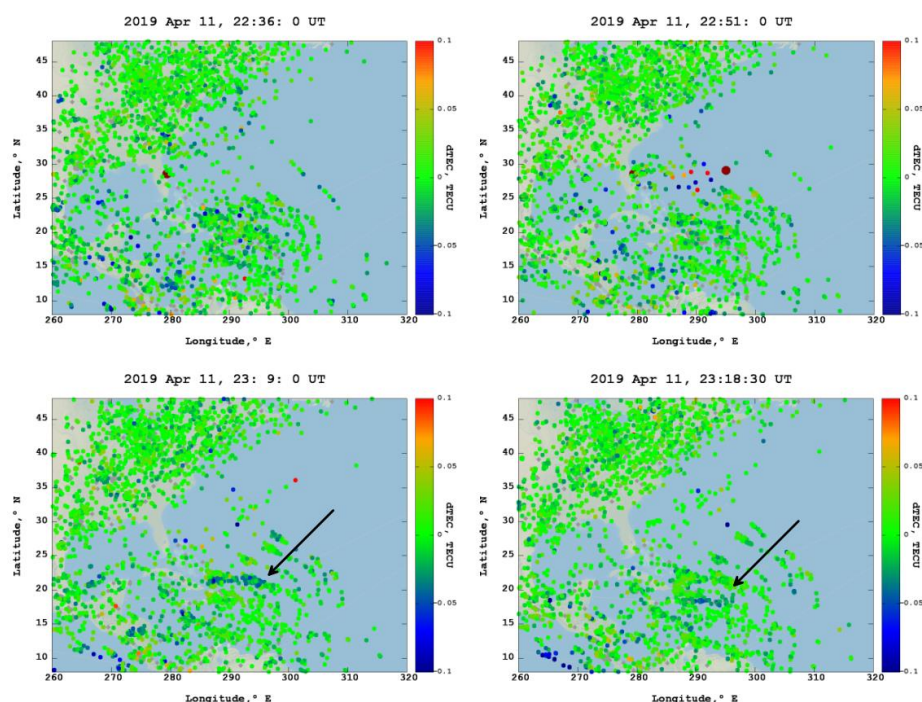


Рисунок 5 — распространение плоской волны отклонений вариаций ПЭС

Анализ вариаций ПЭС показал, что амплитуды регистрируемых возмущений незначительно превышали фоновые вариации.

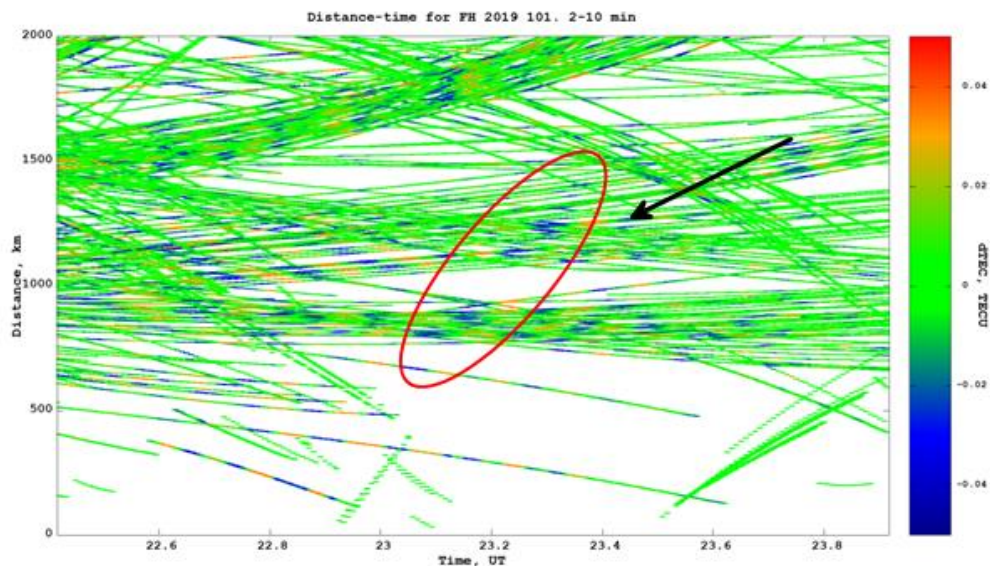


Рисунок 6 – Диаграмма дальность-время для южного возмущения 11 апреля 2019 г.

Для возмущения в дальней зоне диаграмма дальность-время строилась для условного «точечного» источника на активном участке траектории ракеты-носителя. В нашем случае для 11 апреля была выбрана точка с

координатами 29° N, 290° E и все ионосферные точки в азимутальном секторе 165° - 195° (рисунок 7).

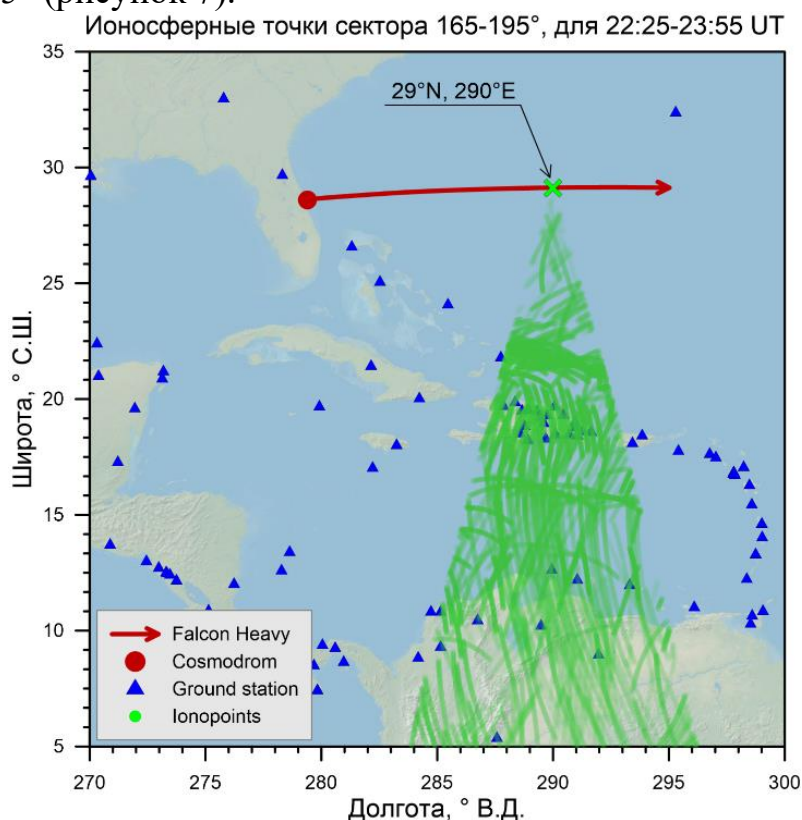


Рисунок 7 – Расположение условного «точечного» источника и ионосферных точек, использованных для построения диаграммы дальность-время.

Аналогичный эксперимент был проведён для 25 июня 2019 года, который показывает большее возмущение с большей амплитудой с ярко выраженными положительными и отрицательными фронтами (рисунки 8, 9).

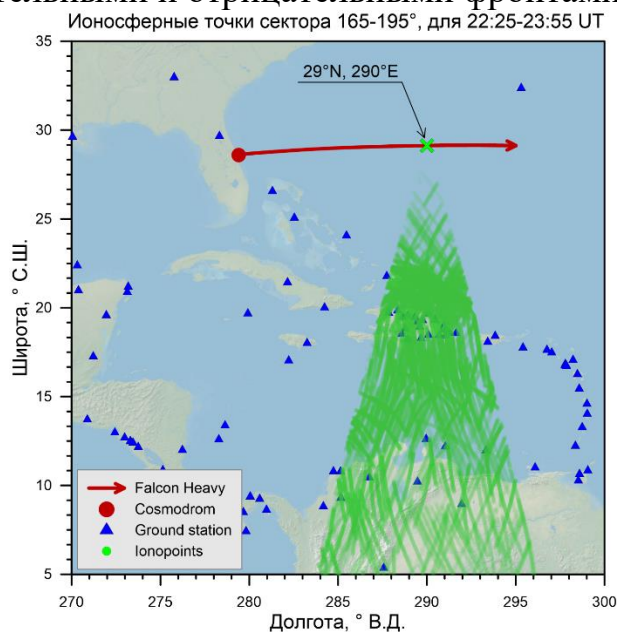


Рисунок 8 – Расположение условного «точечного» источника и ионосферных точек, использованных для построения диаграммы дальность-время.

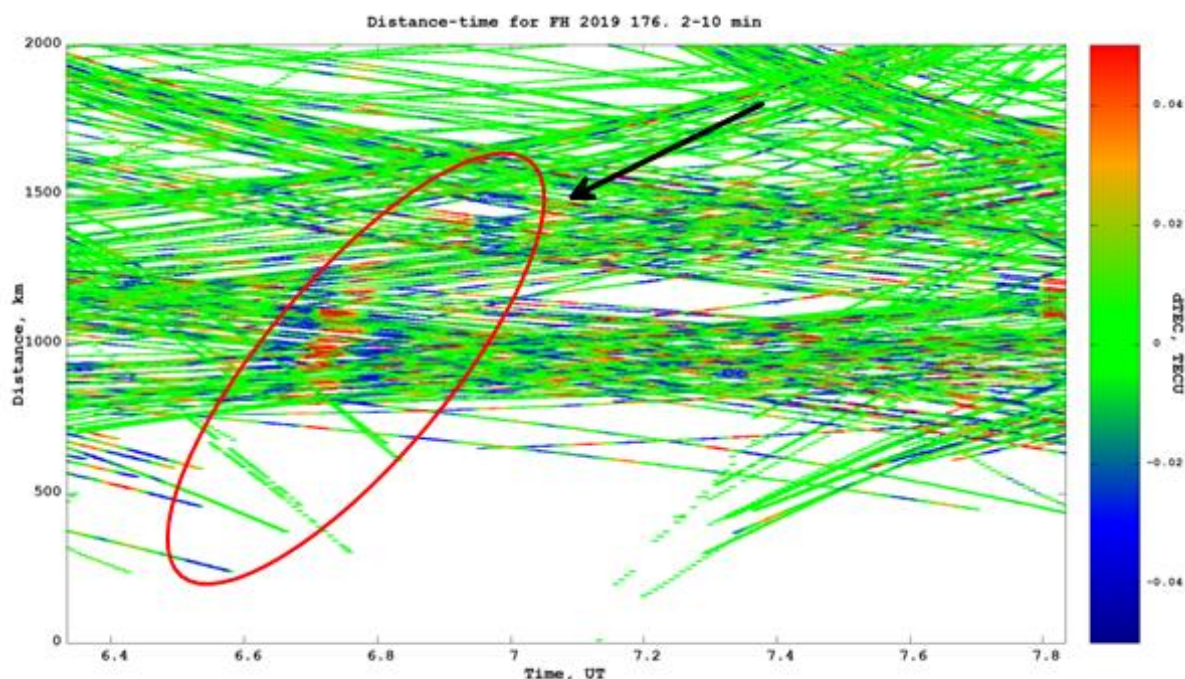


Рисунок 9 – Диаграмма дальность-время для южного возмущения 25 июня 2019 г.

Заключение

Задачи, которые были выполнены: скачаны данные, обработаны, освоены программы для обработки, построены карты возмущений и графики вариаций ПЭС.

Полученные результаты:

Обнаружены возмущения ПЭС, вызванные воздействием двигателей ракет-носителей Falcon Heavy.

Определены параметры этих возмущений:

- а. Первые возмущения возникли через 300 секунд после запуска ракеты в обоих днях исследований.
- б. Возмущения распространялись на юг для обоих дней исследований, а также было зарегистрировано возмущение распространявшееся на восток 25 июня 2019 года.
- в. Параметры возмущений в ближней зоне 25 июня 2019 года:
 1. Скорость оказывается равна примерно 4750 км/ч
 2. Длительность по времени составила 1440 секунд.
 3. Длина волны была равна 1900 км.
- г. Длительность регистрации возмущений в дальней зоне составила 1140 и 1620 секунд соответственно для 101 и 176 дня исследований 2019 года.
- д. Длина волны возмущений в дальней зоне была 600 и 1200 км соответственно для 101 и 176 дня исследований 2019 года.
- е. Максимальное расстояние, на котором регистрировалось возмущение

было 1500 км.

ж. Возмущения в дальней зоне распространялись с максимальной скоростью 1875 и 2667 км/ч соответственно для 11 апреля и 25 июня 2019 года.

Проанализировано состояние возмущённости ионосферы и показано, что: 11 апреля 2019 года было спокойное состояние (Кп максимальный был 2), 25 июня 2019 года было спокойное состояние (Кп максимальный был 1.3)

Список литературы

1. Афраймович Э.А., Перевалова Н.П. GPS-мониторинг верхней атмосферы Земли. Иркутск: Изд-во ГУ НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН, 2006. 480 с.
2. Полное электронное содержание. Режим доступа URL: <https://cyberleninka.ru/> (дата обращения 15.05.2023)
3. Ионосферные возмущения. Режим доступа URL: <https://kpfu.ru/> (дата обращения 15.05.2023)
4. ГНСС-наблюдения ионосферных вариаций во время запуска сверхтяжёлых космических ракет Falcon Heavy. Режим доступа URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/2017GL075774> (дата обращения 15.05.2023)
5. Реакция ионосферы на запуски сверхтяжёлых космических ракет Falcon Heavy. Режим доступа URL: <https://agupubs.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1029/2018GL077334> (дата обращения 15.05.2023)
6. Ионосфера в 1 пункте <https://bigenc.ru/physics/text/2018264>
7. Слои ионосферы. Режим доступа URL: <https://www.radiouniverse.ru/book/lyubitelskie-antenny-korotkih-i-ultrakorotkih-voln/svoystva-ionosfery> (дата обращения 15.05.2023)
8. Геомагнитные индексы. Режим доступа URL: http://www.wdcb.ru/stp/geomag/geomagn_AE_AU_AL_A%D0%9E_ind.ru.html (дата обращения 15.05.2023)
9. Нагревные стенды. <http://www.kosmofizika.ru/spravka/nagrevny.htm>
10. Отклик ионосферы на гелио- и геофизические возмущающие факторы по данным GPS: монография / Ю.В. Ясюкевич, И.К. Едемский, Н.П. Перевалова, А.С. Полякова. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2013. – 259с. – (Солнечно-земная физика).

Определение пространственно-временных интервалов наблюдения МКС пунктами ГНСС

Анисимова К.В.¹, Едемский И.К.²

**1 – Иркутский национальный исследовательский технический универси-
тет, Иркутск, Россия**

**2 – Институт солнечно-земной физики, Иркутск, Россия
*anisimovaks26@gmail.com , ilya@iszf.irk.ru***

Будучи одним из крупнейших мировых проектов, международная космическая станция используется человечеством для различных исследований МКС – это сравнительно большой объект, и его движение может вызывать появление неоднородностей, которые могут оказывать влияние на радиосистемы. Эти неоднородности можно наблюдать, используя сигналы ГНСС. В данной статье речь идет об определении моментов, когда МКС проходит над станциями и лучи от каких спутников пересекают ее траекторию.

Введение

В условиях современного мира технологии стали неотъемлемой частью жизни каждого человека. Наука, стимулирующая мировой прогресс в различных сферах, с развитием технологий также не стоит на месте, охватывая новые и развивая уже известные области исследований. Космическая среда – одно из обширных направлений, исследуемых человечеством. Международная космическая станция, будучи одним из крупнейших мировых проектов, используется для исследований в области биологии, физики, астрономии и многих других. МКС – это сравнительно большой объект, и его движение может вызывать появление неоднородностей, которые могут оказывать влияние на радиосистемы. Эти неоднородности можно наблюдать, используя сигналы ГНСС. Целью данной статьи является определение моментов, когда МКС проходит над станциями, и выделение лучей от спутников ГНСС, пересекающих ее траекторию.

Спутниковая система навигации

Спутниковая система навигации (ГНСС, англ. Global Navigation Satellite System, GNSS) — система, предназначенная для определения местоположения (географических координат) наземных, водных и воздушных объектов, а также низкоорбитальных космических аппаратов. Данная система используется всем миром для различных целей, таких как наземная и морская навигация, наблюдение за перемещениями транспорта и многих других. На данный момент ГНСС обеспечивает бесперебойную работу и полное покрытие всего земного шара. Кратко рассмотрим некоторые из них: GPS и GLONASS.

GPS представляет собой американскую систему навигации, разработка которой началась в 1973 году. Первый запуск был произведен через 5 лет после начала разработки, в феврале 1978 года. Система предоставляет

два вида услуг: услуги стандартного и точного позиционирования [1]. Имеет 32 космических аппарата.

Глобальная навигационная спутниковая система, она же ГЛОНАСС, является российской разработкой, работа над которой началась через 3 года после начала разработки системы GPS, в 1976 году. Первый запуск был произведен позднее, в октябре 1982 года. Изначально предназначалась для военных целей. Система предоставляет 2 вида услуг: стандартной и высокой точности [2]. Имеет 24 космических аппарата.

Количество станций приема сигналов ГНСС по всему миру на текущий момент составляет около 6 тысяч. Такое количество позволит собрать значительную статистику наблюдения эффектов движения МКС.

Выбор языка программирования Python для определения пространственно-временных интервалов наблюдения МКС пунктами ГНСС обусловлен комфортной работой с большими объемами данных, а также наличием большого количества библиотек для работы с координатами.

Для более удобной обработки данных о перемещении МКС используется две библиотеки: pandas и numpy. Первая библиотека имеет два класса объектов: Series, представляющий собой одномерный массив, в котором может храниться любой тип данных (численные значения, строковые, логические и др.), и DataFrame, двумерный массив или таблица, где объекты класса Series используются в качестве столбцов. Библиотека numpy предоставляет возможность удобной работы с многомерными массивами с высокой скоростью обработки.

[4]:

	time	lat	lon	alt	lat_rad	lon_rad
0	2014-01-01 00:00:00	-50.333535	-0.742741	433.111337	-0.878486	-0.012963
1	2014-01-01 00:00:01	-50.349450	-0.649372	433.114031	-0.878764	-0.011334
2	2014-01-01 00:00:02	-50.365284	-0.555937	433.116692	-0.879040	-0.009703
3	2014-01-01 00:00:03	-50.381035	-0.462438	433.119321	-0.879315	-0.008071
4	2014-01-01 00:00:04	-50.396704	-0.368874	433.121917	-0.879588	-0.006438
...
86395	2014-01-01 23:59:55	51.121425	179.125495	422.904394	0.892237	3.126330
86396	2014-01-01 23:59:56	51.132453	179.222486	422.910568	0.892430	3.128022
86397	2014-01-01 23:59:57	51.143393	179.319525	422.916721	0.892621	3.129716
86398	2014-01-01 23:59:58	51.154246	179.416612	422.922854	0.892810	3.131411
86399	2014-01-01 23:59:59	51.165011	179.513745	422.928966	0.892998	3.133106

86400 rows x 6 columns

Рисунок 1 – Данные о пролетах МКС за 01.01.2014

DataFrame из данных о пролетах МКС за одни сутки изображен на рисунке 1 и представляет собой таблицу из 4-х столбцов: дата и метки времени с шагом в 1 секунду, широта, долгота и высота. Для дальнейшей работы также необходимо перевести широту и долготу в радианы.

График одного витка траектории МКС представлен на рисунке 2.

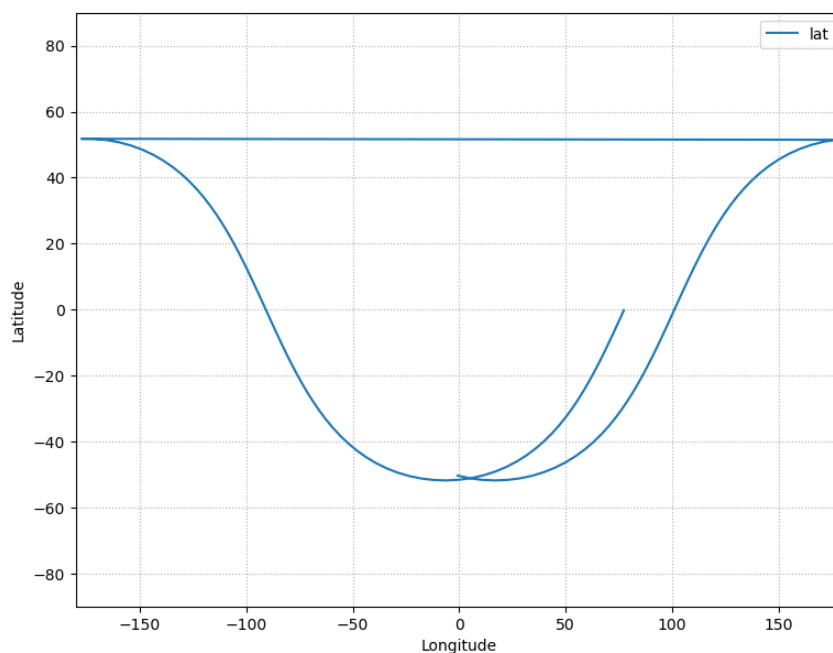


Рисунок 2 – График одного витка траектории МКС за 01.01.2014

Наиболее достоверно наблюдать эффекты движения МКС возможно в областях плотного расположения станций ГНСС, для этого было выделено три региона: Калифорния, Япония и Европа. Список станций имеет три столбца: код станции, ее широта и долгота.

```
def when_iss_passed(station, iss_track, r = 0):
    radius = r / (2 * 6371)
    s_lat = np.deg2rad(station.lat)
    s_lon = np.deg2rad(station.lon)
    gr_lat = radius / 111.11 #градусы отбора
    gr_lon = gr_lat / cos(s_lat)
    data2 = data[['time', 'lat', 'lon', 'lat_rad', 'lon_rad']].copy()
    data2['station_name'] = station.site
    data2['dlat'] = data2.lat_rad - s_lat
    data2['dlon'] = data2.lon_rad - s_lon
    data2 = data2[(data2['dlat'] < gr_lat) & (data2['dlon'] < gr_lon)]
    data2['sin_dlat2'] = np.sin(data2.dlat/2)**2
    data2['sin_dlon2'] = np.sin(data2.dlon/2)**2
    data2['cos_s_lat'] = np.cos(s_lat)
    data2['cos_lat'] = np.cos(data2.lat_rad)
    data2['arcsin'] = np.arcsin((np.sqrt(data2.sin_dlat2 + data2.cos_lat * data2.cos_s_lat * data2.sin_dlon2)))
    data2 = data2[data2['arcsin'] < radius]
    data2 = data2[['time', 'lat', 'lon']]
    return data2
```

Рисунок 3 – Функция по определению интервалов времени пролета МКС над областями плотного расположения приемников

Используя исходные данные, была написана функция по определению интервалов времени, представленная на рисунке 3. Рассмотрим ее структуру далее.

На вход функция получает три параметра: данные о станции, данные о пролетах МКС и радиус. Если радиус не будет задан пользователем, то функция на выходе даст метки времени, широту и долготу тех моментов, когда МКС пролетала ровно над станцией. Для дальнейших расчетов внутри функции, радиус приводится в нужный вид по формуле:

$$r = \frac{radius}{2 \cdot 6371},$$

где *radius* – заданный пользователем на входе функции радиус; а число 6371 в знаменателе – среднее значение радиуса Земли.

Широта и долгота станции, полученной на входе функции, пересчитывается в радианы посредством библиотеки *numpy* для дальнейших расчетов.

Поскольку количество меток времени и координат МКС достаточно велико даже для одних суток (годовой файл с данными о пролетах МКС имеет около 32 миллионов строк), для достижения высокой скорости обработки требуется провести предварительную фильтрацию, отбросив те моменты времени, когда МКС находилась слишком далеко от станции. Для этого далее в функции задаются градусы отбора. Для широты формула имеет вид:

$$gr_lat = \frac{radius}{111,11},$$

для долготы:

$$gr_lon = \frac{gr_lat}{\cos(s_lat)},$$

где *gr_lat* – рассчитанное значение градусов отбора для широты, *cos(s_lat)* – косинус широты станции в радианах.

Следующим шагом в отдельную переменную создается копия полученных на входе функции данных о пролетах для дальнейших изменений и расчетов. Для того, чтобы определить, как далеко находится МКС от станции, следует посчитать разницу между их широтами и долготами в радианах. Так как количество данных по-прежнему велико, для сохранения быстрой работы функции эти и последующие расчеты проводятся прямо внутри *DataFrame* с данными о пролетах с помощью библиотеки *numpy*, использование которой дало выигрыш по скорости обработки в несколько порядков. Полученные значения записываются отдельным столбцом и добавляются в переменную с копией данных, полученную выше. После чего производится фильтрация этих значений по заданным ранее градусам *gr_lat* и *gr_lon*,

таким образом отбрасывая далекие от станции положения МКС. Количество значений для дальнейшей обработки заметно уменьшилось.

Для того, чтобы определить, какие из координат МКС находятся в заданном радиусе от станции, необходимо воспользоваться формулой Хаверсина, которая используется для расчета расстояний между двумя точками на сфере:

$$2 \cdot r \cdot \arcsin \left(\sqrt{\sin^2 \left(\frac{\varphi_2 - \varphi_1}{2} \right) + \cos(\varphi_1) \cdot \cos(\varphi_2) \cdot \sin^2 \left(\frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right)} \right),$$

где r – радиус, φ_2 – широта положения МКС, φ_1 – широта положения станции, λ_2 – долгота положения МКС, λ_1 – долгота положения станции. Для упрощения расчетов и их ускорения формула разбита на составные части. Все рассчитанные фрагменты формулы добавляются к основному файлу с данными отдельными столбцами. После чего все полученные значения подставляются в основную формулу, результаты которой также записываются в отдельный столбец.

Финальным этапом функции является фильтрация полученных значений по формуле Хаверсина относительно значения радиуса, рассчитанного в самом начале. Работа функции окончена, результатом ее работы является метка времени, дата, широта и долгота положения МКС, когда она находилась в заданном радиусе от станции.

Так как список станций содержит 2387 станций, чтобы получить перечень значений для каждой из них следует воспользоваться циклом. В новую переменную создается пустой словарь. В дальнейшем это позволит получить нужные метки времени для каждой станции, обращаясь по ключевому слову, в данном случае – по имени станции.

Чтобы сохранить полученный в результате выполнения цикла словарь в файл и иметь возможность применять его в дальнейшем, используется библиотека `pickle`, которая позволяет преобразовать объект в поток байтов с последующим сохранением в файл, возможностью его передачи по сети и дальнейшим использованием. Теперь, обратившись по ключевому слову, можно получить необходимые метки времени. Пример вывода функции представлен на рисунке 4.

	time	lat	lon
3656	2014-01-01 01:00:56	34.013534	-119.890382
3657	2014-01-01 01:00:57	33.970466	-119.836466
3658	2014-01-01 01:00:58	33.927370	-119.782608
3659	2014-01-01 01:00:59	33.884247	-119.728808
3660	2014-01-01 01:01:00	33.841096	-119.675066
3661	2014-01-01 01:01:01	33.797918	-119.621383
3662	2014-01-01 01:01:02	33.754712	-119.567758
3663	2014-01-01 01:01:03	33.711479	-119.514190
3664	2014-01-01 01:01:04	33.668219	-119.460681
3665	2014-01-01 01:01:05	33.624932	-119.407228
3666	2014-01-01 01:01:06	33.581617	-119.353834

Рисунок 4 – Метки времени и координаты МКС, полученные в ходе работы функции для станции ana1 в Калифорнии

Заключение

Дальнейшая работа будет заключаться в определении в полученные моменты времени положения спутников GPS и GLONASS, когда лучи от них до заданной станции пересекали траекторию МКС. После чего предстоит анализ вариации величины полного электронного содержания в точках прохождения МКС и установление наличия или отсутствия эффектов воздействия движения МКС на ионосферу.

Таким образом, в ходе данной статьи был рассмотрен один из участков разработки метода определения пространственно-временных интервалов наблюдения МКС пунктами ГНСС с использованием языка программирования Python. Кратко описаны такие навигационные системы, как GPS и GLONASS, подробно разобран принцип работы одной из функций данного метода и описаны дальнейшие этапы разработки.

Список литературы

1. Прикладной потребительский центр ГЛОНАСС. Информационно-аналитический центр координатно-временного и навигационного обеспечения. Глобальная навигационная спутниковая система GPS URL: <https://glonass-iac.ru/guide/gnss/gps.php> (дата обращения 10.05.2024). – Текст : электронный.
2. Глобальная навигационная спутниковая система ГЛОНАСС URL: <https://glonass-iac.ru/guide/glonass.php> (дата обращения 10.05.2024). – Текст : электронный.

Исследование затухания, возникающего в сетях GPON

Аршикова А.Г., Леонова Н.В., Дмитриев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

alena.arshikova@mail.ru, anleonova@mail.ru, dmtaa77fti@gmail.com

Неустанное развитие возможностей сети Internet, появление новых услуг связи способствуют постоянному увеличению объема данных, передаваемого по сети. Это обстоятельство обуславливает желание операторов использовать новые возможности увеличения пропускной способности транспортных сетей. В статье будут исследованы затухания, возникающие в пассивном оборудовании сети GPON – сплиттерах.

Введение

Технология GPON является наиболее перспективной технологией семейства пассивных оптических сетей PON.

PON (Passive Optical Networks) – технология пассивных оптических сетей.

Сеть доступа PON основана на древовидной волоконно-кабельной архитектуре с пассивными оптическими разветвителями (сплиттерами) на узлах. Использование данной технологии является одним из самых экономичных способов обеспечения широкополосной передачи информации. При этом архитектура технологии PON обладает необходимой гибкостью расширения структуры сети доступа и увеличения ее пропускной способности в зависимости от потребностей абонентов.

Преимущества архитектуры PON:

- отсутствие промежуточных активных узлов, обеспечивающее низкое энергопотребление;
- экономия оптических приемопередатчиков в центральном узле;
- легкость подключения новых абонентов и удобство обслуживания (подключение, отключение или выход из строя одного или нескольких абонентских узлов никак не сказывается на работе остальных).

Принцип действия PON

Основная идея архитектуры построения PON – использование всего одного приемопередающего модуля в OLT для множества абонентских устройств ONT. Таким образом, суть технологии PON заключается в том, что между центральным узлом, обеспечивающим подключение к магистрали, и абонентскими узлами создается полностью пассивная оптическая сеть древовидной топологии. В промежуточных узлах дерева размещаются компактные пассивные оптические разветвители (сплиттеры), не требующие питания и обслуживания.

Число абонентских узлов, подключенных к одному приемопередающему модулю OLT, может быть настолько большим, насколько позволяет диапазон мощности и максимальная скорость приемопередающей аппаратуры.

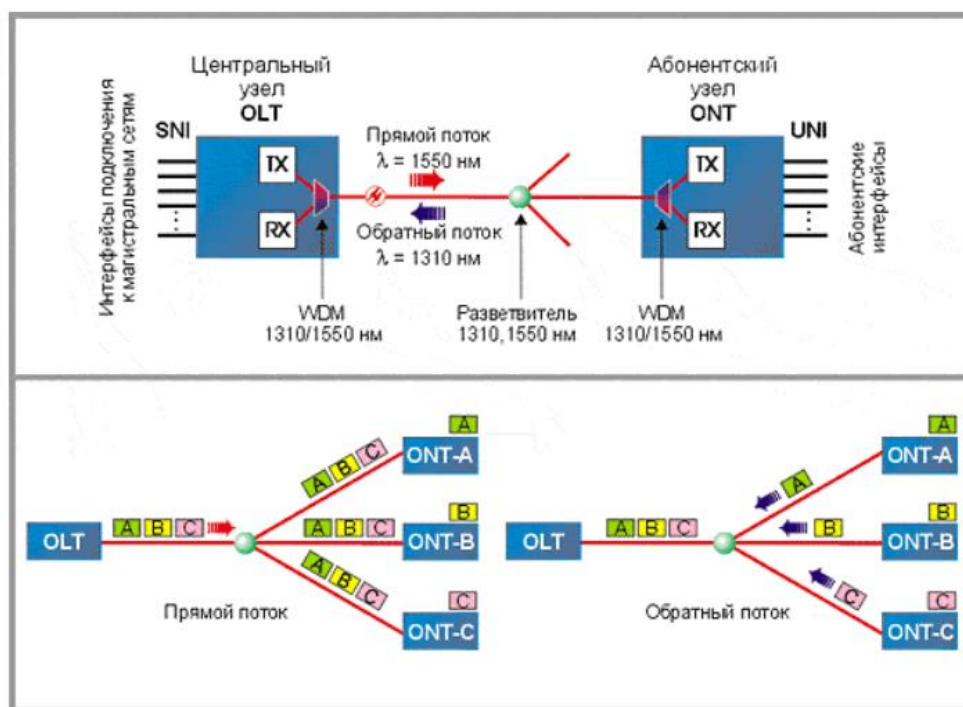


Рисунок 1. Принцип работы сети PON

Структурно каждая пассивная оптическая сеть PON, изображённая на рисунке 1, включает в себя три ключевых компонента:

1. оптического стационарного терминала OLT (optical line terminal);
2. пассивных оптических разветвителей (сплиттеров) с коэффициентом деления от 1:2 до 1:128;
3. оптического сетевого абонентского терминала ONT (optical network terminal в терминологии ITU-T), также называемых ONU (optical network unit в терминологии IEEE).

Прямой поток: прямой поток на уровне оптических сигналов, является широковеЩательным. Каждый абонентский узел ONT выделяет из этого общего потока предназначенную только ему часть информации. Для передачи потока информации от OLT к ONT – прямого (нисходящего) потока, как правило, используется длина волны 1550 нм.

Обратный поток: все абонентские узлы ONT ведут передачу в обратном потоке на одной и той же длине волны, используя концепцию множественного доступа с временным разделением TDMA (time division multiple access). Для того, чтобы исключить возможность пересечения сигналов от разных ONT, для каждого из них устанавливается свое индивидуальное

расписание по передаче данных. Потоки данных от разных абонентских узлов в центральный узел передаются на длине волны 1310 нм [1].

Технология GPON

В GPON в целом используются пассивные оптические элементы, которые обходятся без отдельного питания, но при этом соответствуют новейшим требованиям к сетям передачи данных в наше время.

Технология даёт возможность получать несколько услуг связи по одному кабелю. Обладая высокой скоростью, оптоволокну GPON позволяет в одно время смотреть телевизионные каналы в высоком качестве, скачивать фильмы из сети, пользоваться интернетом на разных устройствах. Действие технологии построено так, что независимо от количества подключенных устройств, скорость остаётся быстрой. К помещению от главного кабеля проводят отдельный оптический, далее происходит подключение к специальному устройству, которое устанавливается в помещение заказчика. Через это устройство осуществляется подсоединение всех услуг заказчика. Так как Wi-Fi-модуль установлен внутри терминала GPON, не требуется роутер, чтобы подключить к сети любое устройство без проводов. Схематично сеть GPON изображена на рисунке 2.

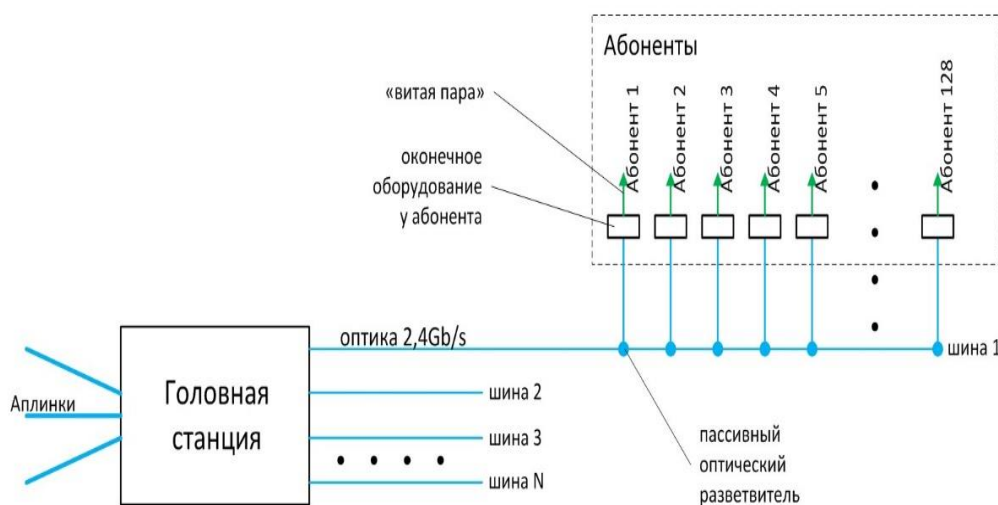


Рисунок 2. Схема построения сети GPON

Затухание в сплиттерах

Значительное затухание вызывается сплиттерами, которые распределяют мощность оптических сигналов между жилами абонентами.

В технологии GPON используются различные типы сплиттеров в зависимости от количества ветвей и соотношения входного и выходного сигналов (коэффициент пропускной способности).

Наиболее распространенными типами сплиттеров в технологии GPON являются:

а) Пассивные оптические сплиттеры (PON-сплиттеры). Эти сплиттеры не требуют электричества для работы и имеют коэффициент разделения от 1:2 до 1:32. Они разделяют входящий сигнал на отдельные каналы для каждого подключенного абонента, что позволяет использовать один физический кабель для связи с несколькими пользователями;

б) Блочные сплиттеры – сплиттеры, использующие более одного элемента сплиттера для разделения сигнала передачи. Коэффициент разделения варьируется от 1:32 до 1:128. Блочные сплиттеры меньше и легче, чем сплиттеры PON, но требуют более высокой точности обработки;

в) WDM-сплиттеры – сплиттеры, использующие технологию мультиплексирования с разделением по длине волны (WDM), позволяют передавать данные с разными длинами волн по одному и тому же оптическому кабелю. Они выделяют меньше тепла, чем блочные сплиттеры, и обеспечивают лучшую защиту от помех.

В технологии GPON принцип работы разветвителя основан на диапазоне длин волн света, используемого для передачи данных по оптическому кабелю. Сигнал, генерируемый на центральном узле, поступает на вход сплиттера, где разделяется на несколько каналов, каждый из которых передается абоненту.

Каждый канал разветвителя передает данные на определенной длине волны света, полученной с помощью спектрального разделения длин волн. В результате один оптический кабель может передавать данные нескольким абонентам, что значительно снижает стоимость и время установки оптической сети.

Затухание (или потеря) сигнала в разветвителях вызвано разделением уровня сигнала между различными каналами. Каждый сплиттер имеет коэффициент разделения, который представляет собой отношение мощности входного сигнала к мощности выходного сигнала для каждого канала. Например, коэффициент разделения разветвителя 1:4 означает, что 1/4 мощности входного сигнала направляется на каждый из четырех выходных каналов [2].

Существует два основных типа ослабления: ослабление разделения и ослабление волокна.

Разделительное затухание: отношение мощности входного сигнала к мощности выходного сигнала. Разделительное затухание разветвителя зависит от его конструкции и коэффициента разделения. Формула для разделительного затухания разветвителя выглядит следующим образом:

$$L(\text{дБ}) = 10 * \log \frac{1}{n}$$

где $L(\text{дБ})$ — разделительное затухание в децибелах, дБ;
 n — количество каналов (выходов) сплиттера.

Условия эксперимента и методы обработки данных

Для проведения эксперимента выбраны SPF модули с длинами волн: 1310 нм, 1490 нм, 1550 нм. SFP (SFP+) модуль представляет собой миниатюрный узел в металлическом корпусе, с одной стороны имеющий контакты для подсоединения к главному устройству (маршрутизатору, коммутатору), а с другой - разъемы для подсоединения оптического кабеля (реже – витой пары). Подключили их в специальные порты на коммутаторе D-link и проверили наличие связи с помощью измерителя мощности оптического излучения NR-PMT-12C. Соединили SPF-модуль с оптическим кроссом и сняли на нем входную мощность. В оптическом кроссе установлены сплиттеры PLC 1x2 SP/APC, PLC 1x6 SP/APC, PLC 1x8 SP/APC, PLC 1x16 SP/APC с техническими данными предоставленными в таблице 1. Через оптический кабель соединили входной сигнал, с входом в сплиттер 1x2 и на каждом выходе разветвителя измерили мощности. Тоже самое провели для разветвителей 1x6, 1x8, 1x16.

Таблица 1

Технические характеристики сплиттеров

Сплиттеры	PLC 1x2 SP/APC	PLC 1x6 SP/APC	PLC 1x8 SP/APC	PLC 1x16 SP/APC
Габаритные размеры, мм	4x12x60	141x115x18	100x80x10	120x80x18
Диапазон рабочих длин волн, нм	1260...1650	1260...1650	1260...1650	1260...1650
Вносимые потери, дБ (макс)	<4.0	<9.0	<10.5	<13.7
Поляризационные потери, дБ (макс)	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.4	0.2-0.4
Направленность, дБ	55	55	55	55
Обратные потери, дБ	55	55	55	55
Тип оптоволокна	G.657	G.657	G.657	G.657
Стандартная длина кабельных отводов	1 м	1,5 м	1,5 м	1,5 м
Рабочая температура, °С	-40...+85	-40... +85	-20...+70	-20...+70
Температура хранения, °С	-40...+85	-40...+85	-40...+85	-40...+85

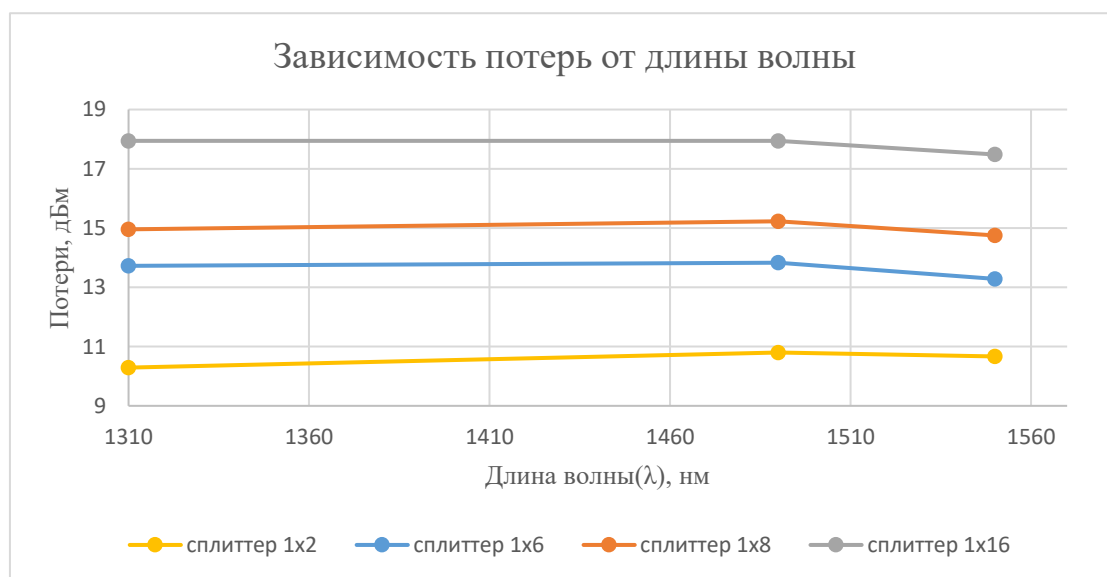
Результаты

По результатам измерений, представленным в таблице 2, построен график зависимости потерь от длины волны, который предоставлен на рисунке 3.

Таблица 2

Полученные входные и выходные мощности на различных сплиттерах

Длина волны, нм	1310 нм			1490 нм			1550 нм		
	Входная мощность, дБм	Выходная мощность, дБм	Потери, дБм	Входная мощность, дБм	Выходная мощность, дБм	Потери, дБм	Входная мощность, дБм	Выходная мощность, дБм	Потери, дБм
1x2	-10,3	-20,59	10,29	-11,02	-21,82	10,8	-10	-20,67	10,67
1x6	-10,3	-24,03	13,73	-11,02	-24,85	13,83	-10	-23,29	13,29
1x8	-10,3	-25,25	14,95	-11,02	-26,25	15,23	-10	-24,75	14,75
1x16	-10,3	-28,24	17,94	-11,02	-30,08	17,94	-10	-24,48	17,48

*Рисунок 3. Зависимость затухания от длины волны***Заключение**

Как видно из таблицы значения потерь на разных длинах волн (1310 нм, 1490 нм, 1550 нм) близки. Так же можно сделать вывод, что чем больше разветвителей, тем больше потерь. Данные результаты будут использованы в расчетах потерь при распространении сигнала при проектировании сети GPON. Кроме того, данные исследования будут использованы в лабораторном практикуме дисциплины «Вычислительная техника и информационные технологии».

Список литературы

1. Петренко И. И., Убайдуллаев Р. Р. Пассивные оптические сети PON. Ч. 1 // Lightware Russian Edition. 2004. № 1. 28 с.
2. Зингеренко Ю.А. Пассивные оптические сети xPON– СПб: Университет ИТМО, 2020. – 115 с.

Проектирование сети широкополосного доступа для ПГТ «Иволгинск» района республики Бурятия

Котяева К. Н., Леонова Н.В., Дмитриев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

kkotyayeva02@mail.ru, anleonova@mail.ru, dmtaa77fti@gmail.com

На сегодняшний день интернет используется повсеместно. Он уже стал для нас неотъемлемой частью нашей повседневной жизни. На работе или в быту мы уже не можем представить свое существование без быстрой передачи информации на большие расстояния. Важность и нужность интернета растет с каждым днем, поэтому нам необходима высокая скорость передачи информации для комфортного использования интернет-сети в любой сфере нашей жизни.

Введение

Существуют разные технологии подключения к интернет-сети. Например, такие как FTTB, GPON. Каждая из этих технологий разрабатывалась для определенной сферы деятельности. Высокоскоростной доступ к сети интернет с возможностью передачи больших объемов данных – ведущая характеристика, которая и является главным признаком успеха провайдера на рынке интернет-услуг.

Технология FTTB (Fiber To the Building – оптика до дома) предполагает передачу информации по высокоскоростным оптоволоконным линиям связи. С использованием FTTB вы имеете выделенный интернет-канал, для использования которого не требуется телефонная линия или модем. В данной технологии оптоволокно проводится только до распределительного пункта, который может располагаться в подвале или на крыше многоквартирного здания. Далее из распределительного пункта протягивается медный провод в квартиру подключаемого абонента. С таким способом подключения к интернет-сети мы можем передавать информацию со скоростью 100Мбит/с, этого хватит для решения многих задач в сети, так же такая технология дешевле, проста в реализации и занимает меньше времени на подключение, чем GPON. Как и в любой другой технологии тут есть свои недостатки, например, операторам не выгодно подключать данную технологию в частных секторах. На медные провода воздействуют погодные условия, резкие скачки напряжения, а также они подвержены электромагнитным помехам от бытовых приборов. Но самой важной и основополагающей проблемой, на мой взгляд, является негативное влияние количества одновременно подключенных абонентов на скорость передачи информации.

Из всех этих факторов можно сделать вывод, что данная технология подойдет только для тех, кто живет в городе.

GPON (Gigabit Passive Optical Network) – при таком типе подключения используется только оптическое волокно, которое протягивают от станции оператора напрямую в оптический модем, который уже заранее установлен

в вашем доме или квартире. С использованием данной технологии абонент получает не только высокоскоростную передачу данных, но и соединение с сетью интернет без помех и сбоев, так как между оператором и абонентом отсутствуют промежуточные узлы. Одним из главных преимуществ такой технологии является высококачественная связь без помех и со скоростью передачи до 1 Гбит/с. С такой скоростью передачи информации, даже если все члены семьи будут одновременно пользоваться сетью, вы не ощутите задержки скорости при скачивании каких-либо файлов или при обычном серфинге в интернете. Всего один GPON-кабель предоставляет не только доступ в интернет-сеть, а еще и дает возможность использовать такие цифровые услуги как телевиденье и телефон. Расстояние между станцией оператора и абонентом никак не влияет на качество связи. Это является положительным фактором для абонентов не всегда имеющих возможность быстро подключиться к сети интернет за городом или в области. Подключенный к GPON телефон будет работать без помех. Оптический кабель GPON не требует электрический ток для передачи сигнала, что является экономически важно, так как это не будет влиять на счета за электричество, и, что не мало важно, интернет будет продолжать работать даже при отключении электроэнергии. Оптический кабель не способен ударить током, что означает безопасность для человека или животного. С таким типом подключения нет необходимости дополнительно приобретать роутер, чтобы пользоваться Wi-Fi, так как он уже встроен в оптический модем, куда подключается оптический кабель. Волоконно-оптические линии связи, построенные на основе технологии гигабитной пассивной оптической сети PON при равных затратах на установку оборудования значительно снижают расходы на дальнейшую эксплуатацию. Таким образом, уменьшается стоимость владения, что является не маловажным фактором.

Сеть интернет для поселка Иволгинск по технологии GPON

Предметом проектирования является технология сети доступа GPON, которая включает в себя выбор оборудования, макет сети и оценку затрат, связанных с развертыванием сети.

Поселок расположен в центре Иволгинской долины в 28 км юго-западнее Улан-Удэ. Общая площадь поселка: 82 000 га.

На 1 января 2020 года численность населения поселка Иволгинск составляет 12102 человек. В состав населенного пункта Иволгинск входит 96 улиц, 1926 домов и сооружений, среди которых 20 двухквартирных, 23 образовательных центра, 59 предприятий и 112 магазинов.

В поселке Иволгинск отсутствует необходимая инфраструктура для подключения высокоскоростного интернет-соединения. Из-за того, что село находится в отдаленной области, в ней нет оптоволоконного подключения сети, жители имеют ограниченный доступ к интернету, что значительно

замедляет развитие муниципальных организаций и препятствует ведению бизнеса.

Для решения проблемы жителей Иволгинска было принято решение внедрить стандарт GPON. В этой работе будут рассматриваться различные аспекты проекта, например такие как технические решения, различные топологии сети, подбор оборудования и коммерческая сторона проекта. Так же будут рассмотрены последствия, например такие как потенциально экономические выгоды и в целом влияние на жителей Иволгинска.

Объект проектирования – ПГТ Иволгинск района республики Бурятия, карта посёлка так же продемонстрирована (рис. 1). На сегодняшний день на территории деревни базируется только один интернет-провайдер - Ростелеком. Проектирование направлено на разработку сети стандартной доступа Gigabit Passive Optical Network (GPON), которая обеспечит высокоскоростной доступ в интернет для жителей посёлка.

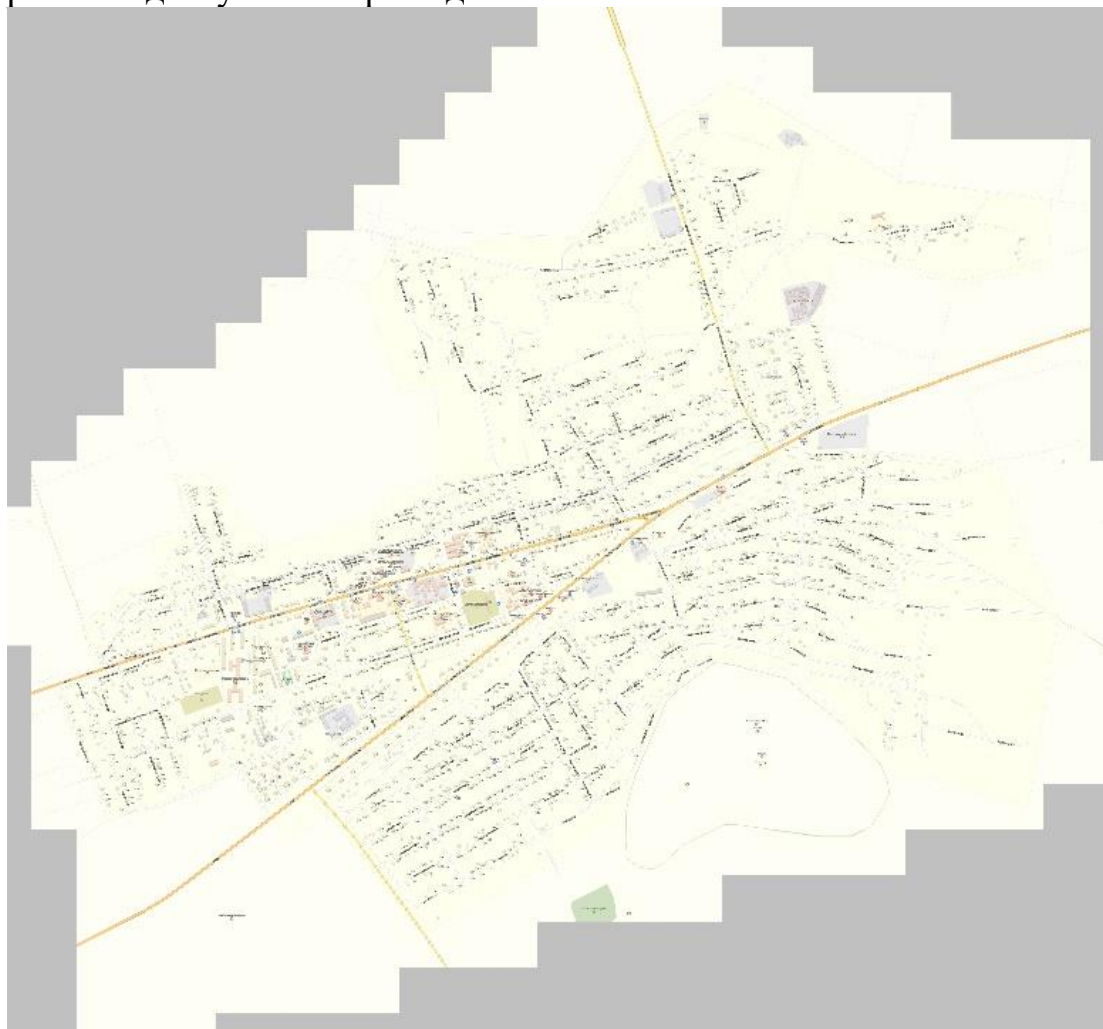


Рисунок 1 – Карта посёлка городского типа Иволгинск

Изначально нужно провести оптоволокно к базовой станции в Иволгинске. В нашем случае мы будем проводить кабель из ближайшего города, в котором уже существует такая технология. В данной ситуации кабель будет

протягиваться через автомобильную трассу от базовой станции из Улан-Удэ к базовой станции в Иволгинске (рис. 2).

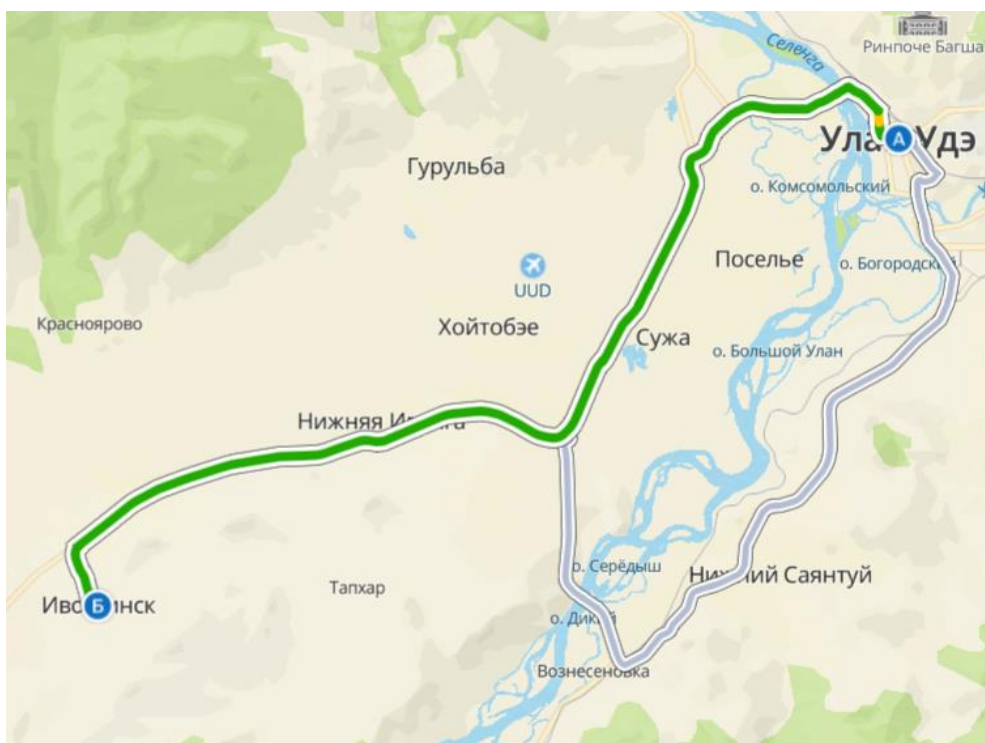


Рисунок 2 – План прокладки оптоволокну между базовыми станциями

После того этого мы начнем прокладывать кабели от базовой станции к каждому дому (рис. 3), после чего к каждой квартире. Для этого используются разветвители, то есть сплиттеры.

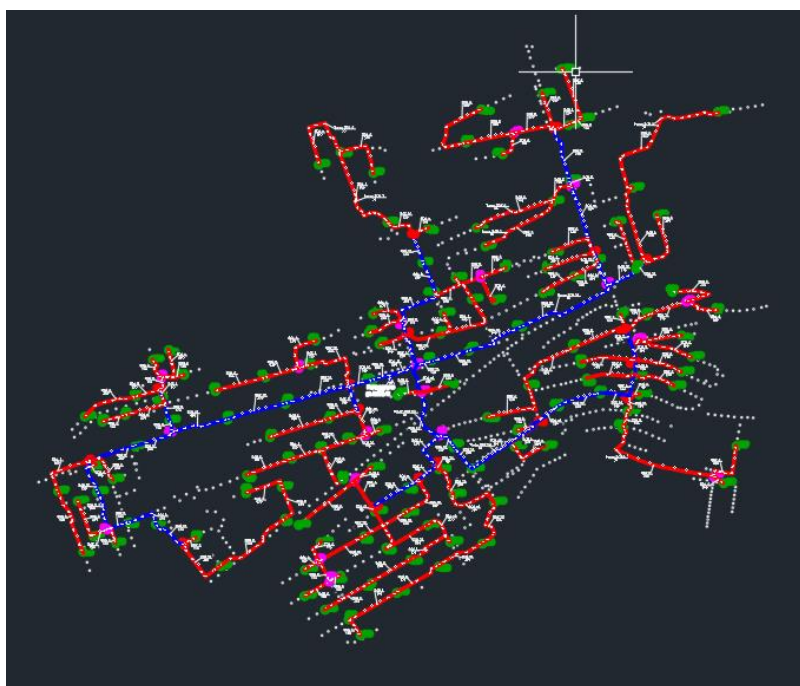


Рисунок 3 – Топология подключения домов от базовой станции

Так как в нашей работе используются сплиттеры, значит возникновения затуханий неизбежно.

Затухание в оптоволокне GPON (Gigabit Passive Optical Network) — это уменьшение мощности оптического сигнала по мере его прохождения через волоконно-оптический кабель. Затухание ограничивает максимальную длину оптоволоконной линии и количество сплиттеров, которые можно использовать в сети GPON. Обычная дальность передачи в GPON составляет до 20 км без необходимости использования усилителей сигнала. Затухание является важным параметром, влияющим на дальность и качество передачи данных в сети GPON. Возникают затухания по следующим причинам:

1. Поглощение (Absorption): Часть оптической энергии поглощается материалом волокна. Основные источники поглощения включают примеси в стекле и инфракрасное поглощение самой матрицы волокна.

2. Рассеяние (Scattering): Молекулярные и структурные неоднородности в стекле вызывают рассеяние света. Основным видом рассеяния в оптических волокнах является рассеяние Рэлея, которое особенно сильно влияет на короткие длины волн.

3. Макроизгибы (Macrobending): Потери, вызванные большими изгибами оптического кабеля, которые отклоняют свет из сердцевины волокна. Мелкие дефекты и микроскопические изгибы волокна, вызывающие дополнительные потери из-за изменения пути света внутри волокна.

4. Стыковочные потери (Splice and Connector Losses): Потери, возникающие на местах соединения (стыковки) и разъемов волокон. Качество стыковки и использование правильных соединителей существенно влияет на уровень этих потерь.

5. Потери при ответвлении сигнала с помощью сплиттера.

В данной работе проведен эксперимент как сплиттеры и длина волны влияют на затухание в оптоволокне на том же оборудовании, что используется в проекте, только в лабораторных условиях.

Использовалось и продемонстрировано (рис. 4) следующее оборудование: сплиттер, патч-корд, измерительное устройство, источник сигнала.

Сначала выбрали SPF модули с разными длинами волн. SFP модуль (Small Form-factor Pluggable) — это компактный съемный оптический или электрический модуль, используемый для передачи данных в сетевых устройствах. Он часто используется в коммутаторах, маршрутизаторах и медиаконвертерах для обеспечения гибкости в организации сетевых подключений. SFP модули позволяют легко менять тип и дальность передачи данных без необходимости замены всего устройства. Подключили модули в специальные порты на коммутаторе D-link и проверили наличие связи. Соединили SPF-модуль с оптическим кроссом и сняли на нем входную мощность. Через оптический кабель соединили патч-корд, с входным сигналом, с патч-

кордом входом в сплиттер 1х16 и на каждом выходе делителя измерили мощности. Полученные данные занесли в таблицу 1.

Таблица 1 – Измерения затухания возникающего из-за сплиттеров

Длина волны	1310, нм		1550, нм		1490, нм	
номер порта	Входной сигнал	Выходной сигнал	Входной сигнал	Выходной сигнал	Входной сигнал	Выходной сигнал
SFP		-9,9		-9,6		-8,49
1x16	-10,3	-28,56	-10	-28	-11,02	-30,34
	-10,3	-28,24	-10	-27,5	-11,02	-29,82
	-10,3	-28,03	-10	-28	-11,02	-30,09
	-10,3	-29,41	-10	-28,86	-11,02	-31,45
	-10,3	-28,63	-10	-27,02	-11,02	-30,31
	-10,3	-28,32	-10	-27,42	-11,02	-29,94
	-10,3	-27,77	-10	-27,1	-11,02	-29,7
	-10,3	-28,09	-10	-27,73	-11,02	-30,17
	-10,3	-28,5	-10	-27,3	-11,02	-29,93
	-10,3	-28,18	-10	-27,02	-11,02	-29,93
	-10,3	-28,32	-10	-27,09	-11,02	-29,9
	-10,3	-27,71	-10	-27,04	-11,02	-29,64
	-10,3	-28,25	-10	-27,57	-11,02	-30,17
	-10,3	-27,82	-10	-27,38	-11,02	-29,94
	-10,3	-28,08	-10	-27,45	-11,02	-29,8
	-10,3	-27,98	-10	-27,25	-11,02	-30,2



Рисунок 4– лабораторный стенд для изучения сети на пассивных оптических элементах для изучения технологии GPON

Заключение

В ходе проделанной работы экспериментальным путем мы выяснили, что затухание, полученное лабораторным путем, не превышает критическое затухание. Это значит, что условия для реализации проекта были выбраны верно и созданная нами сеть будет бесперебойно функционировать, выполняя свои задачи. Так же в дальнейшем планируется изучение других видов затуханий, например в сплиттерах, на рассеянии, макроизгибах и поглощении.

Список литературы

1. Овчинникова И.А., Шкалова Н.Д., Резник И.П., Васильев Е.Б. и др. Огнестойкий пожаробезопасный упрочненный оптический кабель //Патент на полезную модель № 161669 по заявке 2015135217/28 от 20.08.2015 H01B 11/22, опубл. 27.04.2016 г., бюл. № 12
2. Ероньян М.А., Кулеш А.Ю., Реуцкий А.А., Девятьяров Д.Р., Никитин И.С., Ун-тилов А.А., Овчинникова И.А., Волынский Д.В., Чаморовский Ю.К., Печенкин А.А. Од-номодовый световод w-типа, устойчивый к изгибу и радиации// Журнал технической фи-зики. 2020. Т. 90. № 12. С. 2143-2147
3. Овчинникова И.А., Васильев Е.Б., Шкалова Н.Д. и др. Оптический бортовой радиационностойкий кабель //Патент на полезную модель № 192307 по заявке 2019119612 от 24.06.2019 G02B 6/ 44, опубл. 12.09.2019, бюл. № 26
4. ГОСТ Р 52266-2020 Кабельные изделия. Кабели оптические. Общие техниче-ские условия. М.:Стандартинформ. 65 с.
5. Берлин А.Н. Терминалы и основные технологии обмена информацией: учебное пособие. – М.: ИУИТ, 2007. – 511 с.
6. Мир телекома, №1, 2012 г. Сети абонентского доступа на базе техноло-гии PON. – 74с.
7. Складов О.А. Волоконно-оптические сети и системы связи. – М.: Лань, 2010 – 272 с.
8. Современные телекоммуникации. Технология и экономика. Под ред. С.А. Дов-гого. – М.: Эко-Трендз, 2003. – 320 с
9. Расчет оптического бюджета в PON сетях [Электронный ресурс]/ netclo.ru/ Ин-формационный сайт о сетевых технологиях – Режим доступа: Изм. Лист № докум Под-пись Дата Лист 11070006.11.03.02.413.ПЗВКР 69 <https://netclo.ru/raschet-opticheskogo-byudzheta-v-pon-setyakh//> (дата обращения 30.04.2018)
10. Филимонов, А. Построение мультисервисных сетей Ethernet [Текст] / А.Фили-монов // - СПб.: Изд. БХВ-Петербург, 2007г. -530с.
11. Смирнова, Е.В. Технологии современных сетей Ethernet. Методы коммутации и управления потоками данных [Текст] / Е.В. Смирнова, П.В. Козик // - СПб.: Изд. БХВ-Петербург, 2012г. -272с.

Экспериментальное исследование характеристик прибора ИРТХ-400

Манзарханов А.Н. , Егоров В.Н.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

В статье приводятся результаты исследования прибора ИРТХ-400 в составе установки для измерения диэлектрических характеристик материалов в диапазоне температур 20°C -400°C на СВЧ. Исследуется время выхода на режим стабилизации температуры измерительного резонатора, зависимости резонансной частоты и добротности от температуры.

Введение

Прибор ИРТХ-400 разработан в Восточно-Сибирском филиале ФГУП ВНИИФТРИ. Прибор прошел гос. испытания с целью утверждения типа средства измерения и внесен в государственный реестр. Метрологические характеристики прибора были исследованы на этапе испытаний. Эксплуатационные характеристики, такие как время и закон выхода на режим стабилизации температуры и температурная зависимость резонансной частоты и добротности исследованы недостаточно. Целью работы является исследование переходных характеристик прибора при выходе на режим стабилизации температуры в заданной точке и относительных уходов резонансной частоты и добротности при температурах от 20 °С до 400 °С.

Прибор ИРТХ-400

Прибор ИРТХ-400 предназначена для измерений относительной диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ материалов на частоте 9 ГГц в составе установки в соответствии с ГОСТ Р 8.623-2015 «ГСИ. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков. Методики измерений в диапазоне сверхвысоких частот» при температурах образца от комнатной до 400 °С. Установка состоит из серийного скалярного анализатора цепей Р2М-18 и прибора ИРТХ-400. Передняя панель прибора представлена на рис.1. Температура нагреваемой части измерительного резонатора задается, стабилизируется и измеряется программируемым терморегулятором ТРМ-210.



Рисунок 1 – Передняя панель ИРТХ-400

При исследовании режимов выхода ИРТХ-400 на точку стабилизации температуры на терморегуляторе задавалась температура и измерялись значения температуры нагреваемой части резонатора как функции времени от момента включения нагрева. Задавались последовательно четыре температуры: 100, 200, 300 и 400 °С. Комнатная температура являлась начальной точкой цикла нагрева. На рис.2 приведены графика выхода прибора на режим стабилизации температуры.

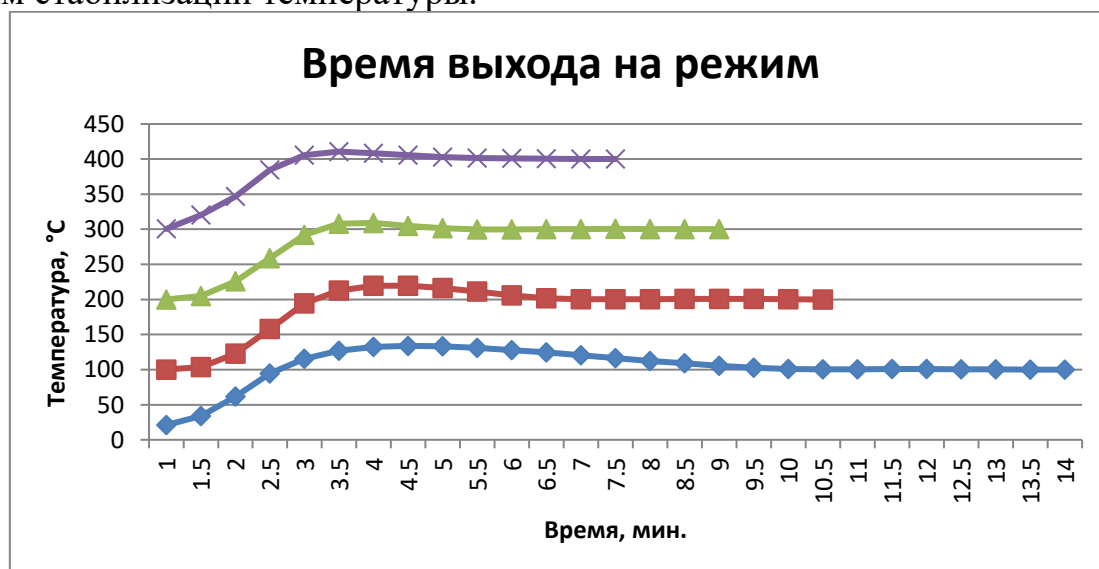


Рисунок 2 – Графики зависимости времени от температуры при разных температурах и их выходах на режим

Из графиков рис.2 видно, что на все точки стабилизации терморегулятор прибора выходит с перерегулированием, т.е. в начале температура повышается выше установленной, а затем приближается к точке стабилизации сверху. Это гарантирует достижение установленной температуры.

Исследовались также относительные уходы резонансной частоты $\delta f(T)$ и добротности $\delta Q(T)$ измерительного резонатора относительного значения при комнатной температуре. Относительные уходы рассчитывались как:

$$\delta f(T) = \frac{f(T) - f(20^\circ\text{C})}{f(20^\circ\text{C})}, \quad \delta Q(T) = \frac{Q(T) - Q(20^\circ\text{C})}{Q(20^\circ\text{C})}.$$

В каждой температурной точке измерялась резонансная частота и добротность резонатора после установления температуры с точностью до 0,1 °С. На рис. 3 (а, б) представлены полученные экспериментальные температурные зависимости относительных уходов резонансной частоты (а) и добротности (б).

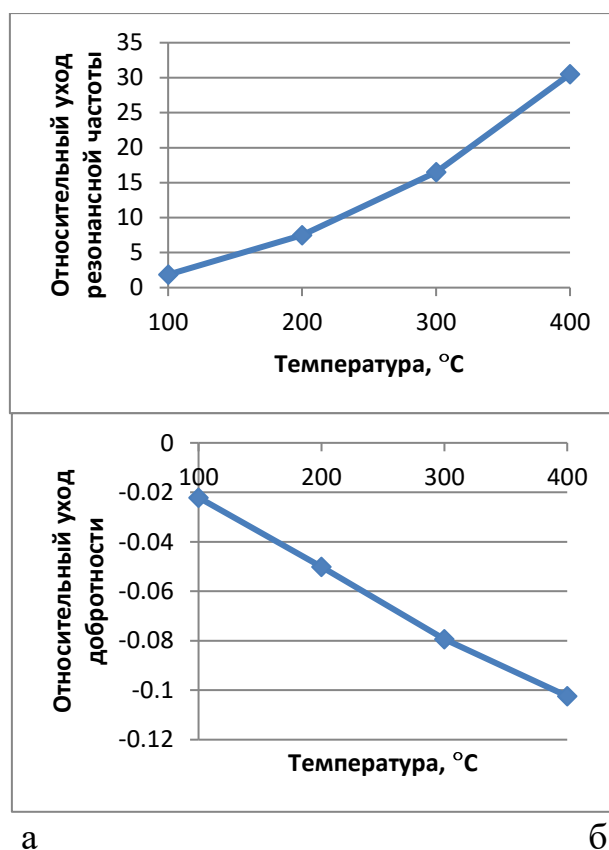


Рисунок 3 – Зависимости относительного ухода резонансной частоты (а) и относительного ухода добротности (б) от температуры

Заключение

В результате исследований получены характеристики переходных режимов и относительные уходы резонансной частоты и добротности измерительного резонатора прибора ИРТХ-400 в диапазоне температур от комнатной до 400 °С, что позволит в дальнейшем улучшить характеристики данного прибора.

Статистическая обработка результатов измерения оптического затухания

Михаханов А.А., Леонова Н.В., Дмитриев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия

mihaxanov@inbox.ru, anleonova@mail.ru, dmtaa77fti@gmail.com

В настоящее время оптические измерители стали более сложными и чувствительными, что привело к необходимости более тщательного анализа их погрешностей. В статье представлены результаты расчета погрешностей измерения оптического затухания для трех оптических измерителей различных марок.

Введение

Оптическое затухание является важным параметром, влияющим на производительность оптических систем и устройств. Статистическая обработка оптического затухания позволяет получить ценную информацию о характеристиках оптических приборов, таких как точность, надежность, воспроизводимость параметров и оценить их пригодность для конкретных применений.

Целью данного исследования является статистическая обработка оптического затухания, возникающего в пассивном оборудовании сети GPON с использованием трех различных приборов для сравнения их характеристик и определения прибора с лучшими статистическими параметрами.

Измерительные приборы, используемые в исследовании

Измерения проводились на трех оптических измерителях (Рисунок 1):

- SNR-PMT-12C
- FPM-600
- ТОПАЗ-7200-А



Рисунок 1 – Используемые приборы

Экспериментальная установка включала в себя:

- оптический источник SFP;
- сплиттеры PLC 1x6 SP/APC и 1x16 SP/APC;
- оптические измерители;
- стенд, имитирующий пассивную оптическую линию связи.

В стенде реализован принцип каскадного разделения сигналов со сплиттеров. Использовались в работе делители вида – 1x6 и 1x16. В модели сети на вход сплиттера подавался известный сигнал. Далее он делился сплиттером и снимался на выходах.

В качестве источника сигнала был использован SFP 1550 нм. Сигнал с источника поступал на вход сплиттеров 1x6 и 1x16. Снимались значения оптического затухания на входе и на выходах сплиттера каждым прибором. Данные занесены в таблицу 1.

Таблица 1

Значения входного и выходного затухания для сплиттера 1x6

Входное затухание, dBm	Выходное затухание, dBm
SNR-PMT-12C	
-10	-22,75
	-22,67
	-22,94
	-23,62
	-22,83
	-22,9
FPM-600	
-10	-22,45
	-22,47
	-22,66
	-22,39
	-21,89
	-22,07
ТОПАЗ-7200-А	
-10	-21,32
	-21,31
	-21,28
	-20,78
	-20,84
	-20,79

Далее нашли среднее арифметическое выходного затухания для каждого сплиттера и посчитали погрешность измерений. Пример расчетов для прибора SNR-PMT-12C представлен в таблице 2.

Таблица 2

Расчет погрешности измерений для прибора SNR-PMT-12C

$\alpha_{\text{вх}},$ dBm	$\alpha_{\text{вых}},$ dBm	$\alpha_{\text{ср}},$ dBm	$\Delta\alpha^2,$ dBm	$S(\alpha_{\text{ср}})$	$\Delta_{\text{сл}},$ dBm	$\Delta_{\text{и}},$ dBm	$\Delta,$ dBm
-10	-22,75	-22,95	0,04	0,14	0,36	0,01	0,36
	-22,67		0,08				
	-22,94		0				
	-23,62		0,45				
	-22,83		0,02				
	-22,9		0				
	-22,75		0,04				

Аналогичные вычисления были сделаны для остальных приборов, а также сплиттера 1х16. Полученные результаты занесены в таблицу 3.

Таблица 3

Значения затухания

	SNR-PMT-12C	FPM-600	ТОПАЗ-7200-А
1х6	$-27,48 \pm 0,26$	$-28,34 \pm 0,25$	$-26,62 \pm 0,22$
1х16	$-22,95 \pm 0,36$	$-22,32 \pm 0,3$	$-21,05 \pm 0,29$

Заключение

Как видно из таблицы 3, значения погрешности для различных приборов достаточно близки, но можно сделать вывод о том, что оптимальную погрешность имеет прибор ТОПАЗ-7200-А. Данные результаты будут использованы при выполнении измерений потерь при распространении сигнала при проектировании сети связи GPON. А также, данные исследования будут использованы в лабораторном практикуме дисциплины «Многоканальные телекоммуникационные системы».

Список литературы

1. Леонова Н.В. Волоконно-оптические системы передачи. – Иркутск, изд-во ИрГТУ, 2008. – 172 с.
2. Виноградов В.В., Котов В.К., Нуприк В.Н. Волоконно-оптические линии связи. – М.: Желдориздат, 2002. – 278 с.
3. Скларов О.К. Современные волоконно-оптические системы передачи, аппаратура и элементы, 2001 – 240 с.

Модернизация системы охраны склада хранения ВТ и ЗИП

Титов В.Ю.

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

Безопасность собственного имущества издревле была одной из главных забот человека. Для защиты от несанкционированного вторжения в жилище, хищения вещей и пожара человечество придумало немало нужных приспособлений, однако технологии безопасности развиваются вместе с развитием общества. Перед современным человеком вопрос об обеспечении безопасности жизни и имущества стоит не менее остро, чем перед его предками. В стремлении обезопасить необходимые объекты от проникновения злоумышленников, человечество изобрело много систем оповещения и противодействия проникновению.

Введение

Системы охранной сигнализации призваны увеличить контроль доступа на объект. Причем не важно, где устанавливается система сигнализации: в автомобиле, в квартире, в офисе или в складском помещении, главная задача любой системы оповещения - вовремя сообщить соответствующим службам о возникновении экстренной ситуации.

Чаще всего функционал сигнализирующих систем увеличивают путем прибавления к уже существующему устройству различных датчиков и дополнительных систем, что благоприятно сказывается на обеспечении контроля за различными процессами, например, за контролем утечек различных веществ, например, воды, или же газа, также присутствует возможность уведомления о отключении света. В устройство такого типа можно встроить пожарные системы, которые будут обеспечивать защиту от огня ваших материальных ценностей.

Помимо обеспечения безопасности объекта, система охраны периметра также выполняет ряд ключевых задач, направленных на предотвращение несанкционированного доступа и защиту материальных ценностей. Ниже приведены основные задачи системы охраны периметра:

1. Защита объекта от вторжения: Главной задачей системы охраны периметра является предотвращение вторжения на территорию объекта. Путем надежного контроля за периметром и своевременного обнаружения любых попыток проникновения система обеспечивает безопасность объекта.

2. Защита от выноса материальных ценностей: Охрана периметра также направлена на предотвращение кражи и выноса материальных ценностей с объекта. Это достигается путем контроля за доступом к ценностям и предотвращения несанкционированного перемещения материальных ценностей.

3. Снижение привлекательности объекта для злоумышленников: Система охраны периметра также призвана снизить привлекательность

объекта для потенциальных злоумышленников. Это достигается через создание видимой защиты, установку знаков предупреждения и мер безопасности, которые делают объект менее привлекательным для преступников.

4. Защита от строительства тоннелей и подкопов: ещё одной важной задачей системы охраны периметра является защита от возможного строительства тоннелей или подкопов для несанкционированного доступа на объект. Система должна обеспечивать контроль над подземными работами и обнаружение подобных попыток.

Целью всей системы защиты периметра является предотвращение несанкционированного доступа на объект. Главная стратегия заключается в том, чтобы остановить нарушителя на ранней стадии, предотвратив его попытку проникновения на территорию. Для этого используются различные технологии и методы контроля, которые позволяют оперативно реагировать на любые попытки нарушения периметра. В случае крайней необходимости, физическое вмешательство охранников может быть применено как последнее средство обеспечения безопасности объекта.

При фиксации нарушения охранного периметра включается сирена. Производя два основных действия, оповещая караул о нарушении и психологическое воздействие на злоумышленника об обнаружении.

Выдвижение группы охраны к месту срабатывания сигнализации - крайняя линия для нарушителя охранного периметра.

Основное предназначение тревожной звуковой сигнализации сирены — это быстрое и эффективное оповещение об охранном нарушении, чтобы предотвратить ущерб и защитить объект от несанкционированного доступа. Как только сигнализация сработала, охранники мгновенно реагируют на ситуацию, чтобы предотвратить дальнейшее продвижение нарушителя и обеспечить безопасность объекта.

Установка забора или ограждения также позволяет контролировать доступ на территорию и ограничивать движение по ней. Это помогает предотвратить произвольные посягательства на частную собственность или обеспечить безопасность на предприятии. Заборы могут быть сделаны из различных материалов, таких как металлические сетки, дерево, кирпичи или бетонные блоки, в зависимости от требований безопасности и эстетических предпочтений.

Для улучшения защитных свойств заборов могут быть установлены дополнительные элементы, такие как колючая проволока, острые настилы или даже электрическая проводка. Такие меры делают проникновение на территорию еще более затруднительным и опасным для потенциальных нарушителей. Более того, в зависимости от целей защиты, можно подобрать соответствующую технологию и оборудование для обеспечения надежной защиты.

Важно также отметить, что поддержание и регулярное обслуживание заборов и ограждений играет не менее важную роль в обеспечении их

эффективности. Периодическая проверка на предмет повреждений, своевременный ремонт и замена устаревших элементов помогут поддерживать защиту на должном уровне. Наконец, современные системы видеонаблюдения и дистанционного контроля могут дополнить уровень безопасности и обеспечить быструю реакцию на возможные инциденты.

На рисунке 1 представлен план склада хранения ВТ и ЗИП (далее объект). Вся территория поделена на три зоны, где:

- Караульная территория. На ней размещены караульное помещение, стоянка личного АТ и разводная территория.
- Территория размещения складского хранения ЗИП. На ней расположены три здания складов, выполненных из кирпича с монолитным бетонным перекрытием.
- Открытая площадка хранения техники.

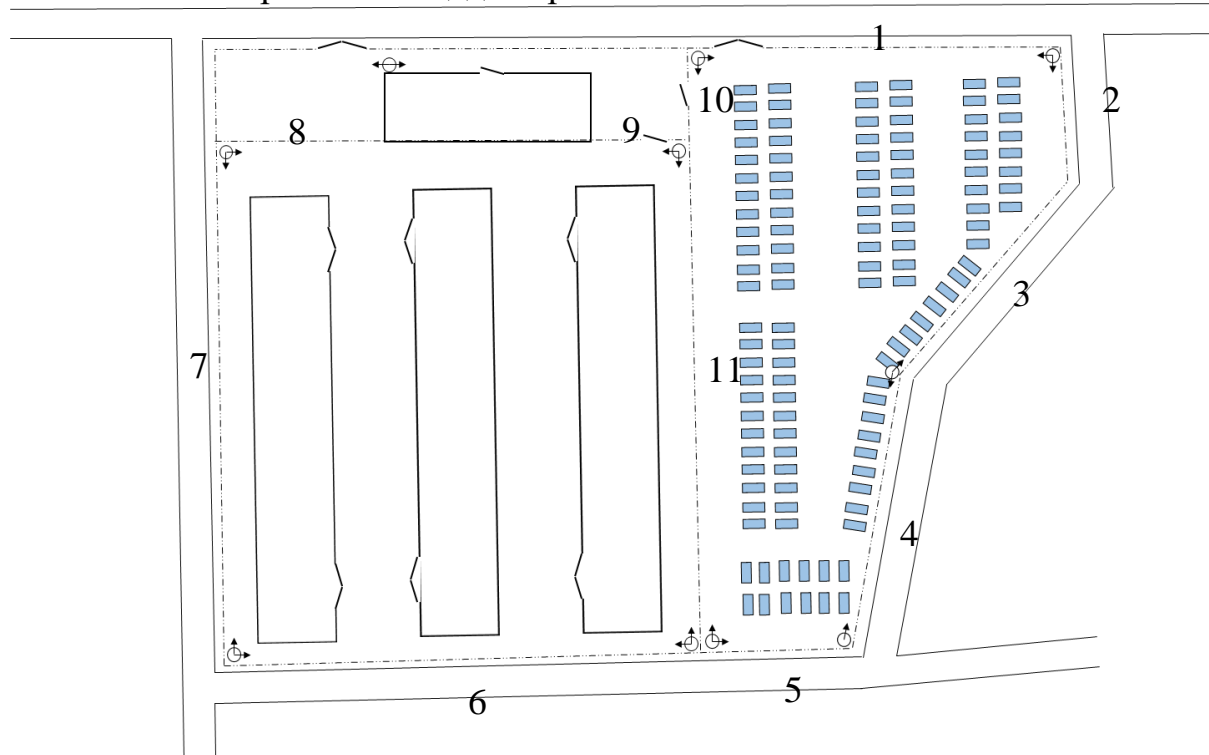


Рисунок 1 План склада хранения с расположением камер видеонаблюдения

На караульной территории находится не только караульное помещение, но и стоянка для личного автотранспорта сотрудников, что обеспечивает быстрый доступ к объекту в случае необходимости. Разводная территория также играет важную роль в обеспечении безопасности объекта, позволяя эффективно контролировать доступ на территорию.

Специальные здания складов, выполненные из кирпича с монолитными бетонными перекрытиями, обеспечивают надежную защиту хранимого оборудования и материалов от различных неблагоприятных факторов. Кирпичные стены обладают высокой прочностью и устойчивостью к

воздействию внешних механических сил, а монолитные бетонные перекрытия обеспечивают защиту от внешних воздействий и обеспечивают дополнительную прочность и надежность конструкции.

Однако, существующие системы видеонаблюдения имеют некоторые недостатки, которые могут привести к нарушению безопасности. Например, они могут быть подвержены взлому или сбоям в работе, а также не всегда способны обнаружить нарушителей в реальном времени. В связи с этим, для обеспечения более надежной защиты периметра необходимо дополнить систему видеонаблюдения другими технологиями.

Одним из наиболее эффективных дополнений к системе видеонаблюдения является трибоэлектрическая система охраны периметра рисунок 2. Эта технология основана на использовании электростатического поля для обнаружения движения на периметре. Такая система позволяет обнаружить нарушителей еще до того, как они попадут в зону видеонаблюдения, что значительно повышает эффективность охраны.

Трибоэлектрические системы используют контактные явления между поверхностями проводников и диэлектриков для обнаружения воздействия на кабель. Они работают на принципе изменения электрического заряда, который возникает при трении различных материалов друг о друга. Такие системы часто используются для обнаружения движения или присутствия объектов вдоль длины кабеля, например, в системах безопасности периметра.

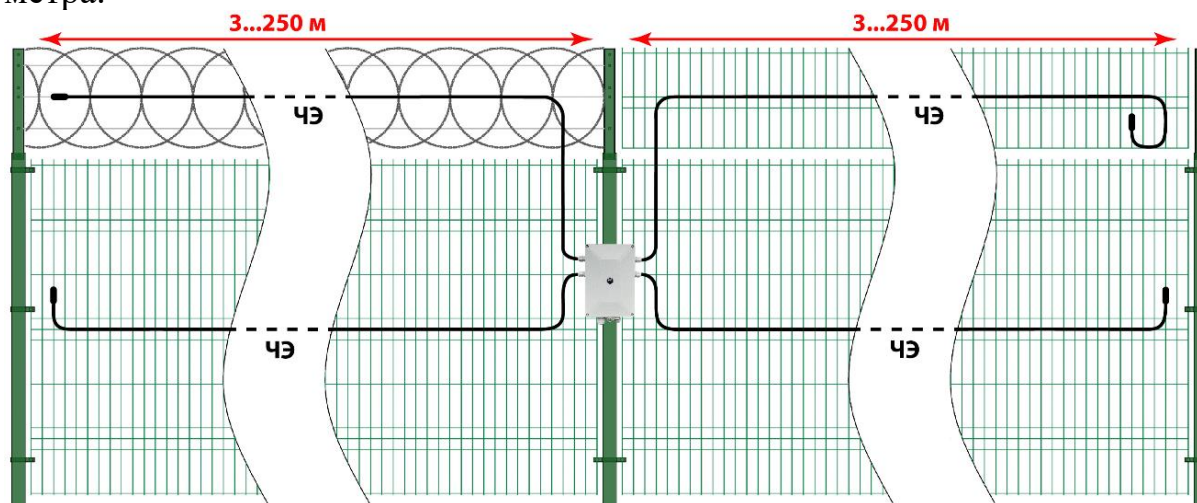


Рисунок 2 – Конструкция трибоэлектрической системы охраны

Преимуществом трибоэлектрических систем является их низкая стоимость по сравнению с некоторыми другими методами обнаружения. Однако у них недостатки, такие как невысокая точность обнаружения и повышенные требования к ограждению и изоляции от внешних воздействий, так как внешние факторы могут повлиять на чувствительность и надежность работы системы.

Кроме того, трибоэлектрическая система охраны периметра имеет ряд преимуществ перед другими технологиями. Во-первых, она не требует больших затрат на установку и обслуживание, так как использует уже существующие опоры и столбы. Во-вторых, она не подвержена воздействию погодных условий, что обеспечивает ее надежную работу в любых условиях. В-третьих, она не требует постоянного присутствия человека для контроля, что снижает риск ошибок и усталости персонала.

Таким образом, дополнение системы видеонаблюдения трибоэлектрической системой охраны периметра является необходимым шагом для обеспечения более надежной и эффективной защиты объектов с высоким уровнем риска. Эта технология позволяет обнаружить нарушителей на ранних стадиях и предотвратить возможные инциденты, что важно для обеспечения безопасности и сохранения имущества.

Извещатель является пассивным, так как в отличие от радиоволновых и других активных извещателей ничего не излучает.

- детектируют высокочастотное воздействие (разрушение), а также определяют относительную силу воздействия;
- детектируют низкочастотное воздействие (преодоление), а также определяют относительную силу воздействия;
- постоянно проводят самотестирование и в случае поломки анализируют об этом.
- настраивают чувствительность определения каждого типа воздействия (разрушение, преодоление).

Сбор и обработку информации от датчиков осуществляет приёмно-контрольный прибор.

Прибор обеспечивает подсчёт общего и по каждому извещателю количества сигналов тревоги, отключений напряжения питания, отключений извещателей и перевода их из режима охраны в режим снятия с охраны.

В случае отключения питания прибора, архив событий сохраняется в энергонезависимой памяти на срок до 30 суток.

Заключение

Внедрение трибоэлектрической системы охраны периметра также позволяет значительно снизить риски возникновения чрезвычайных ситуаций, таких как пожары или кражи. Благодаря возможности мониторинга и контроля за всеми точками доступа на объект, система обеспечивает оперативное реагирование на любые непредвиденные ситуации и позволяет минимизировать потенциальные угрозы для объекта и его обитателей.

Важным аспектом трибоэлектрической системы охраны является ее надежность и эффективность в обнаружении любых попыток проникновения или вторжения на объект. Благодаря высокому уровню электронной безопасности, система способна оперативно реагировать на любые изменения в окружающей обстановке и предупреждать потенциальные угрозы.

Еще одним преимуществом трибоэлектрической системы является ее масштабируемость и гибкость в настройке под конкретные потребности и особенности объекта охраны. Система может быть легко интегрирована с другими средствами безопасности, такими как видеонаблюдение, датчики движения, сигнализация и т.д., что позволяет создать комплексную систему защиты с максимальной эффективностью.

Список литературы

1. ГОСТ Р 50776-95 «Системы тревожной сигнализации. Часть 1. Общие требования. Раздел 4. Руководство по проектированию, монтажу и техническому обслуживанию».
2. ОХРАННАЯ ТЕХНИКА - российское научно-производственное предприятие [Электронный ресурс] / Информационный ресурс «forteza.ru» URL: <https://forteza.ru/>.
3. СП 132.13330.2011 «Обеспечение антитеррористической защищённости зданий и сооружений. Общие требования проектирования».
4. ГОСТ Р 21.1101-2013 «СПДС. Общие требования к проектной и рабочей документации».
5. Кловский Д.Д. Теория передачи сигналов / Д.Д. Кловекий. - М.: Связь, 1973. 305 с.
6. Нефедов, В.И. Основы радиоэлектроники и связи / В.И. Нефедов. - М.: Высшая школа, 2005. 302 с
7. Баскаков, С.И. Радиотехнические цепи и сигналы / С.И. Баскаков. - М.: Высшая школа, 2000. 354 с

Исследование температурной зависимости диэлектрических параметров материала ТСПК при нагреве 400 °С

Торноев Г.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,

Иркутск, Россия

gen.tornoeff2014@yandex.ru

В статье приводятся результаты исследования температурной зависимости диэлектрических параметров материала ТСПК при нагреве 400°С с помощью прибора ИРТХ-400. Температурные зависимости диэлектрических параметров исследуются по изменениям резонансной частоты и добротности измерительного резонатора прибора ИРТХ-400 с исследуемым образцом материала.

Введение

Материал ТСПК применяется в антенных обтекателях летательных аппаратов в процессе эксплуатации материал испытывает нагрев до 400С. Диэлектрические параметры материала существенно влияют на характеристики бортовой аппаратуры, поэтому исследование их температурных зависимостей является актуальной задачей. Для таких исследований в Восточно-Сибирском филиале ФГУП ВНИИФТРИ разработан Прибор ИРТХ-400. Целью работы является исследование температурной зависимости диэлектрических параметров ϵ , $\tan\delta$ материала ТСПК в диапазоне температур от комнатной до 400С.

Установка

Внешний вид Установки представлен на рисунке 1. В состав Установки входят: анализатор цепей скалярный Р2М-18А/1; устройство управления и отображения информации портативное ПКУ-11; измерительный блок с устройством нагрева образцов и встроенным измерителем-регулятором температуры ТРМ 210.

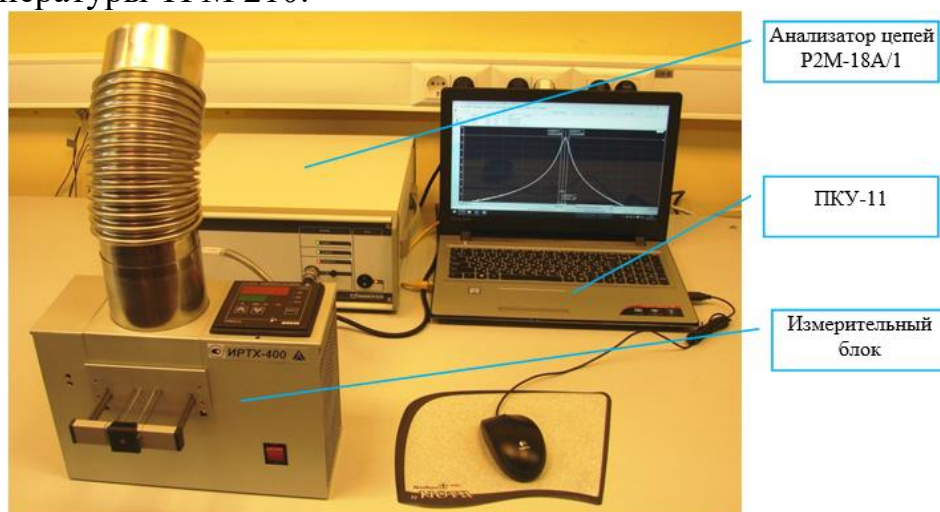


Рисунок 1 - Внешний вид установки ИРТХ 400

Прибор ИРТХ-400

Прибор ИРТХ-400 предназначена для измерений относительной диэлектрической проницаемости ϵ и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ материалов на частоте 9 ГГц в составе установки в соответствии с ГОСТ Р 8.623-2015 «ГСИ. Относительная диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрических потерь твердых диэлектриков. Методики измерений в диапазоне сверхвысоких частот» при температурах образца от комнатной до 400 °С. Установка состоит из серийного скалярного анализатора цепей Р2М-18 и прибора ИРТХ-400. Передняя панель прибора представлена на рис.2. Температура нагреваемой части измерительного резонатора задается, стабилизируется и измеряется программируемым терморегулятором ТРМ-210.



Рисунок 2 – Передняя панель ИРТХ-400

Анализатор цепей Р2М-18

Прибор Р2М предназначен для измерения в коаксиальном тракте модуля коэффициента передачи (ослабления и усиления) и модуля коэффициента отражения или коэффициента стоячей волны по напряжению (КСВН); одновременного измерения модулей коэффициента передачи и отражения.

Область применения – производство и контроль ВЧ и СВЧ устройств и оборудования, исследование, настройка и испытания узлов, используемых в радиоэлектронике, связи, приборостроении, измерительной технике.



Рисунок 3 – Внешний вид Р2М

В каждой температурной точке измерялась резонансная частота и добротность резонатора после установления температуры с точностью до 0,1 °С.

Температурные зависимости диэлектрических параметров

Измерение температурных зависимостей проводилось в дискретных точках по температуре: комнатная, 100С, 200С, 300С, 400С. На терморегуляторе выставлялась температура и выжидалось время до выхода на режим стабилизации с отклонением не более 0,1С. Измерялась резонансная частота и добротность при данной температуре. По компьютерной программе в среде MathCad рассчитывались диэлектрическая проницаемость ϵ и тангенс угла потерь $\text{tg}\delta$ при данной температуре. На рис. 3 (а, б) представлены полученные экспериментальные температурные зависимости относительных диэлектрической проницаемости ϵ (а) и тангенса угла потерь $\text{tg}\delta$ (б).

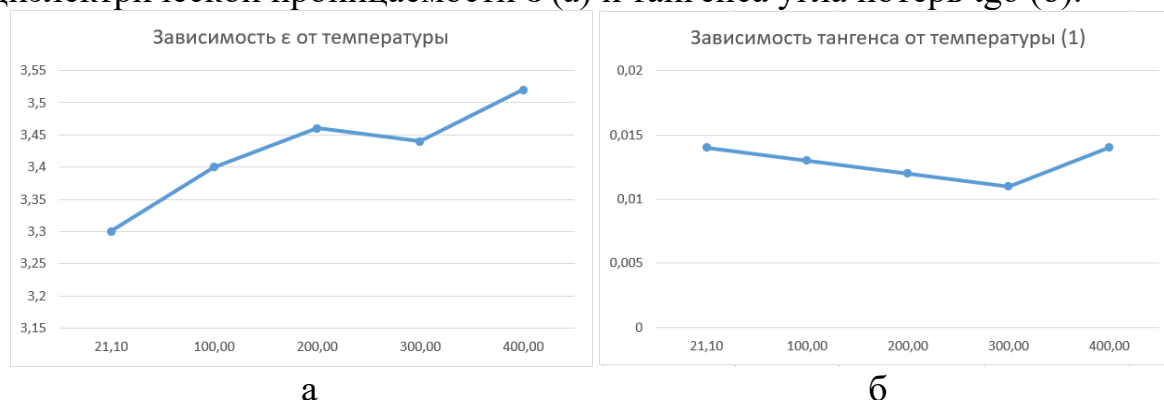


Рисунок 3 – Зависимости ϵ (а) и тангенса угла потерь $\text{tg}\delta$ (б) от температуры.

Заключение

В результате исследований получены температурные зависимости диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь материала ТСПК в диапазоне температур от комнатной до 400С полученные результаты показывают изменения диэлектрических параметров материала в допустимых пределах.

Расчет краевой емкости плоского конденсатора

Худеев А.А.

Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия
hudeev.13@gmail.com

В наше время конденсаторы применяются почти во всех современных устройствах. В статье рассказывается об используемом оборудовании в ходе проведения работы. Описываются расчеты краевой емкости плоского конденсатора. Так же показана разность значений краевых эффектов полученных экспериментальным путем и расчетным.

Введение

Научная и практическая значимость работы состоит в том, что расчет краевой емкости является важным аспектом проектирования высокочастотных и микроволновых устройств, таких как антенны, фильтры, усилители и другие. В большинстве случаев, при расчете емкости конденсатора, значения краевых эффектов не учитываются, хотя роль их значительна.

Исследование и расчет краевой емкости позволяют инженерам и ученым более точно моделировать и анализировать поведение электрических систем, оптимизировать их параметры и обеспечивать требуемые характеристики в различных областях, где важны электромагнитные взаимодействия.

Основные понятия краевой емкости и ее значения в электромагнитных расчетах

Краевая емкость - это особая форма емкости, возникающая вблизи края проводящего или диэлектрического материала. Она играет важную роль в электромагнитных расчетах и имеет решающее значение при проектировании различных устройств. Вот основные понятия краевой емкости и ее значение в электромагнитных расчетах:

1) Что такое краевая емкость: Краевая емкость возникает из-за изменения распределения электрического поля возле края проводящей или диэлектрической структуры. Это приводит к сосредоточению дополнительной емкости вблизи края, что может существенно влиять на характеристики устройства.

2) Значение в электромагнитных расчетах:

- Влияние на емкостные характеристики: Краевая емкость влияет на общую емкость структуры и формирует ее электрические параметры.

- Влияние на распределение поля: Расчет краевой емкости необходим для понимания и оценки изменений в распределении электрического поля вблизи края структуры.

- Влияние на характеристики устройств: Краевая емкость может оказывать существенное влияние на работу устройств, таких как антенны, микрополосковые линии передачи, фильтры и другие электромагнитные устройства.

Исследование и расчет краевой емкости позволяют инженерам и ученым более точно моделировать и анализировать поведение электрических систем, оптимизировать их параметры и обеспечивать требуемые характеристики в различных областях, где важны электромагнитные взаимодействия.

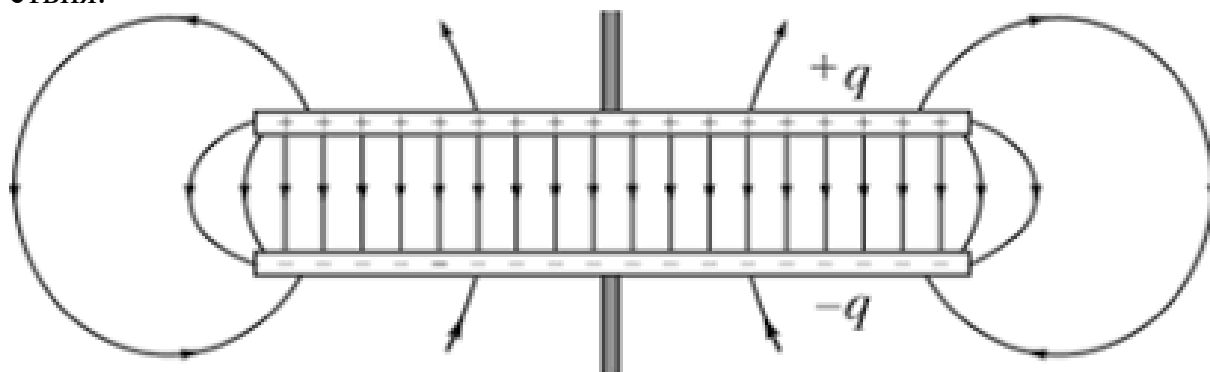


Рисунок 1. Поле плоского конденсатора, заполненный неоднородным диэлектриком.

Оборудование

В работе использовался емкостный прецизионный цифровой мост АН 2700А. Он необходим для измерения емкости C и тангенса угла потерь D (а также пересчета этих параметров в активную проводимость, последовательное или параллельное сопротивление) при частотах 50 Гц...20 кГц (АН2700А) в метрологических лабораториях в качестве вторичных и рабочих эталонов емкости и тангенса угла потерь, при сверхточных измерениях в электротехнике, радиопромышленности, связи, энергетике, научных исследованиях.

Так же, в качестве исследуемого объекта, использовали плоский конденсатор. Конденсатор может накапливать электрический заряд и чем больше площадь электродов и толщина диэлектрика, тем больше заряд может накопить конденсатор. Ёмкость конденсатора — это величина, которая характеризует его способность накапливать заряд, измеряется в фарадах (Ф).

Расчет краевой емкости

В экспериментальной части работы для получения значений емкости конденсатора и его краевых эффектов был использован емкостный прецизионный цифровой мост АН 2700А. Так же использовали конденсатор с

круглыми обкладками. Диаметр обкладок равен $d = 49,93$ мм, а ширина обкладки $a = 2$ мм (рис. 1).

Емкость конденсатора зависит от расстояния между обкладками – чем больше расстояние, тем меньше его электроемкость. Установили расстояние между обкладками конденсатора в 1,003 мм.

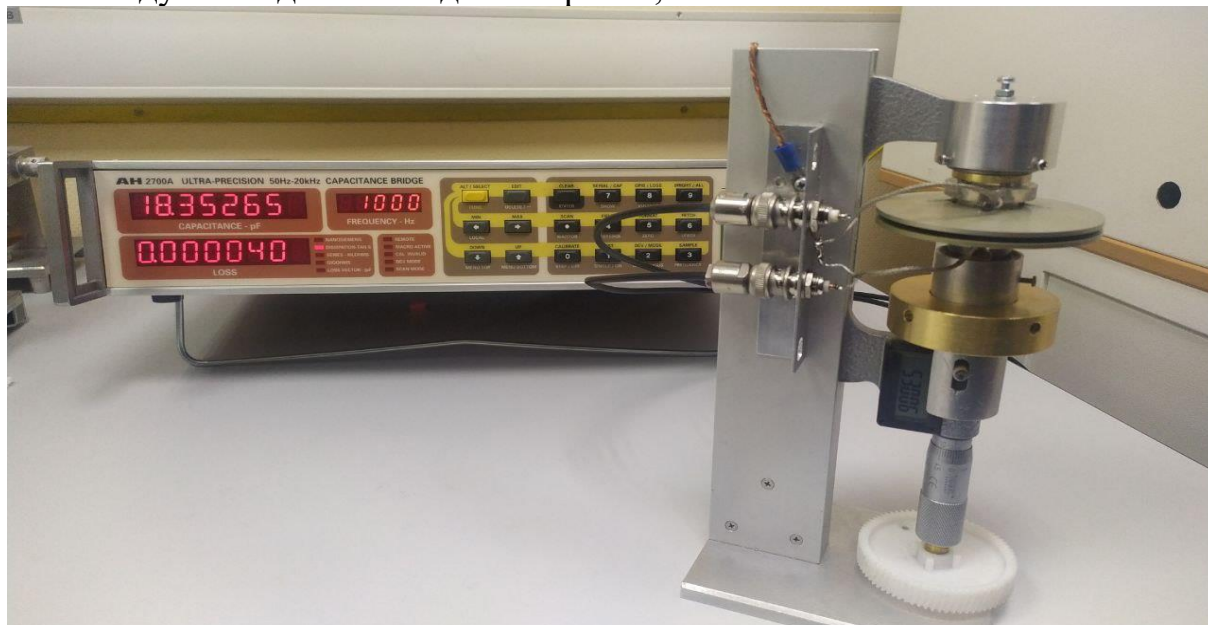


Рисунок 2. Экспериментальная установка.

Получили емкость $C_{\text{эксп}} = 18,35$ пФ. В данном случае на емкость влияют краевые эффекты.

Формула для расчета емкости плоского конденсатора:

$$C_{\text{расч}} = \varepsilon_0 \varepsilon_{\text{возд}} \cdot \frac{\pi d^2}{4 \cdot h},$$

где h – расстояние между обкладками; ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость.

В результате расчетная величина получилась 17,3 пФ. Исходя из этого, видно различие между полученным экспериментальным результатом и расчетным результатом. Настолько сильно воздействуют краевые эффекты.

Для большей достоверности воспользуемся формулой для вычисления краевой емкости:

$$C_e = \pi d \left(0,0326 \cdot \lg \frac{d}{h} + z + 0,0031 \right),$$

где z :

$$z = 0,0326 \left[\left(1 + \frac{a}{h} \right) \lg \left(1 + \frac{a}{h} \right) - \frac{a}{h} \lg \frac{a}{h} \right]$$

Получили краевую ёмкость $C_e = 1,364$.

Заключение

В результате работы заметно, насколько велико значение емкости краевых эффектов. Их роль очень даже значительна и важна при каких либо измерениях. Хотя в большинстве случаев этот параметр не учитывается.

Из этого можно понять, что расчет краевой емкости является важным аспектом проектирования высокочастотных и микроволновых устройств, таких как антенны, фильтры, усилители и другие. Знание параметров краевой емкости позволяет оптимизировать дизайн и эффективность таких устройств, а также улучшить их характеристики.

Благодарности

Работа выполнена в рамках дипломной работы «Расчет краевой емкости в программном пакете CST Studio Suite», 2024 г. Экспериментальные данные получены с использованием оборудования Всероссийского научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений.

Список литературы

1. ГОСТ 22372-77. Материалы диэлектрические. Методы определения диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь в диапазоне частот от 100 до 5×10^6 в ст. 6 Гц. 1978. – С. 17.
2. Шелюто В. А. Простая формула для емкости кольцевого конденсатора, учитывающая краевые эффекты / В.А. Шелюто // Журнал технической физики. 1991. – С. 1.

Применение одноплатных компьютеров для управления группой беспилотных транспортных средств

Хуттунен В.П., Эльхутов С.Н.

Ангарский государственный технический университет, Ангарск, Россия
violettagap@yandex.ru, elsn2000@outlook.com

Рассмотрено устройство и основные технические характеристики одноплатных компьютеров распространенных серий. Проведен анализ возможности применения различных одноплатных компьютеров в составе беспилотного транспортного средства. Предложен подход к аппаратной реализации группового управления беспилотными транспортными средствами.

Введение

При эксплуатации современных беспилотных транспортных средств (БТС) возникает задача одновременного управления группой аппаратов. Подходов к решению такой задачи может быть несколько. Например, в группе может быть назначен один ведомый аппарат, в то время как остальные будут исполнять роль ведомых.

Одноплатные компьютеры в составе беспилотного транспортного средства

Для реализации такого подхода полетные компьютеры аппаратов должны иметь возможность обмениваться между собой управляющей информацией. Это требует размещения дополнительного программного кода в памяти полетного компьютера (ПК), либо установки в аппарат внешнего управляющего устройства, например одноплатного компьютера. В [1] проведен анализ устройства распространенных полетных компьютеров и их технических характеристик, а также сделаны выводы о предпочтительном использовании дополнительного управляющего устройства в составе БТС.

В настоящее время для передачи информации между БТС и наземной станцией используется несколько частотных диапазонов. Так для управления БТС применяются частоты 2,4 ГГц и 900 МГц, для передачи видеосигнала от БТС к наземной станции – 5,8 ГГц, а для передачи данных телеметрии – 433 МГц [2]. Для организации внутри группы БТС необходимо применение приемо-передатчиков, способных работать в двунаправленном режиме и имеющих стандартный интерфейс UART или USB. К таким устройствам относятся телеметрические приемо-передатчики, работающие на частоте 433 МГц.

Для управления группой БТС с использованием типовых ПК, таких как ARM или Pi4hawk, была разработана структурная схема комплекса (рисунк 1), которая включает в себя стандартный ПК, телеметрический приемник и передатчик, работающие на частоте 433 МГц, а также одноплатный компьютер. Между собой компоненты связаны следующим образом: ПК с

управляющим устройством связаны через интерфейс USB с использованием протокола Mavlink, позволяющим передавать полетные данные, а также принимать информацию полетного компьютера с данными телеметрии, геолокации и т.д. Для взаимодействия между БТС используются телеметрические приемник и передатчик, которые в отличие от стандартного применения подключены не напрямую к ПК, а к управляющему компьютеру и применяются не для передачи телеметрических сообщений, а для обмена данными в группе БТС.

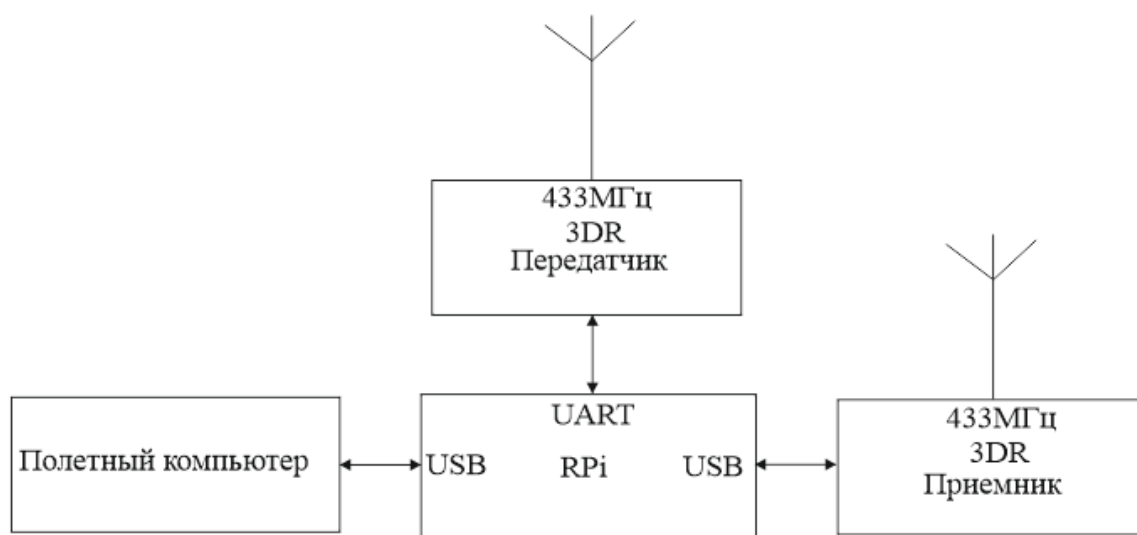


Рисунок 1. Структурная схема устройства

Обмен данными между передатчиком и управляющим устройством выполняется через стандартный последовательный интерфейс, выбор которого обусловлен конструктивными особенностями радиопередатчика. Телеметрический приемник подключен к управляющему устройству через интерфейс USB, что также определено особенностями его конструкции.

В качестве управляющего устройства было принято решение использовать одноплатный компьютер. При этом был проведен сравнительный анализ наиболее распространенных на рынке одноплатных компьютеров в ценовой категории до 10000 рублей (таблица 1). Эти одноплатные компьютеры имеют различные технические характеристики, отличаются друг от друга объемом оперативной памяти, моделью процессора, типом и количеством интерфейсов, а также стоимостью.

Одноплатный компьютер RockPi основан на процессоре Intel Atom и может работать под управлением Windows, однако данный одноплатный компьютер функционально избыточен и обладает достаточно высокой стоимостью. Одноплатные компьютеры Raspberry Pi Zero и Raspberry Pi Pico имеют малый объем оперативной памяти, в частности Raspberry Pi Pico 264Кб, Raspberry Pi Zero 512Кб, чего недостаточно для размещения в оперативной памяти операционной системы, и прикладной программы управления БТС.

Таблица 1. Основные характеристики одноплатных компьютеров

	Raspberry Pi Zero 2	Raspberry Pi 4	Rock Pi X	Raspberry Pi Pico
Процессор	BCM2710A1	BCM2711	Intel's Atom 5-Z8350	RP2040
ОЗУ, ГБ	0.5	8	4	0.25
USB	2.0	2x3.2, 2x2.0	1x3.0, 3x2.0	1.1
UART	1	6	2	2
Операционная система	Linux	Linux	Windows 10	Linux
Цена, руб	1350	6750	8910	360
Габариты	65 x 30мм	85мм x 56мм	85мм x 54мм	51 x 21 мм

Поэтому было принято решение использовать одноплатный компьютер Raspberry Pi 4, который имеет память до 8Гб, что позволит разместить операционную систему Linux и достаточно объемную прикладную программу.

В качестве элементов радиосвязи были выбраны стандартные телеметрические радиоприемник и радиопередатчик работающие на частоте 433 МГц, предназначенные для работы в составе системы БТС – наземная станция.

Заключение

Поскольку в данной разработке может применяться любой из распространенных на сегодняшний день ПК, поддерживающий обмен данными через интерфейс USB по протоколу Mavlink, то дальнейшее развитие проекта связано с разработкой программной части, функционирующей на одноплатном компьютере, и обеспечивающей обмен данными между БТС и наземной станцией, а также внутри группы БТС.

Список литературы

1. Анализ возможности применения современных полетных компьютеров для управления группой беспилотных транспортных средств / Хуттунен В.П., Гапотченко Т.Н., Эльхутов С.Н. // Символ науки: международный научный журнал. – Ангарск: АНГТУ, 2024. – № 1-2. – С. 46-48.
2. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами/ Боев Н.М.. // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М.Ф. Решетнева – Красноярск.; СибГУ, 2012. – № 2 (42). – С. 86- 91.

Содержание

1. Качанов Б.Я., Блинов К.Ю., Блинов Ю.И., Любомиров А.М., Кошелев П.А. Источник питания со сложной формой выходного напряжения	3
2. Гарагуль Ю.В., Горбачев И.В. Рассмотрение метода декомпозиции, факторного анализа, формирование методологических выводов по размещению обзорных радиолокаторов	8
3. Горохов Н.П. Блок управления резервными источниками питания на объектах аэронавигации	13
4. Гошко Р.С. Доплеровский измеритель скорости угла сноса	17
5. Ригин А.В., Строкин Н.А. Влияние магнитного поля на колебания разрядного и ионного токов в плазме Е×В разряда	23
6. Николаев А.А., Фискин Е.М. Оперативный мониторинг уровня воды открытых водоёмов на основе технологии ИИС «КУМИР-РЕСУРС» для объектов гидро-энергетики	30
7. Федоров М. Э. RTKLIV – инструмент для повышения точности навигации подвижных объектов	38
8. Ермаков В.Ю., Лебедев В.П. Исследование направленных свойств КВ антенн по измерениям в ближней зоне, полученным с привлечением БПЛА	44
9. Иванов В.А., Ченский А.Г. Разработка базовой станции для мониторинга погодных условий на базе ESP32	52
10. Колегов П.А., Ченский А.Г. Разработка устройства для мониторинга скважинного помещения на базе ESP32 с использованием мессенджера Telegram	59
11. Просвирякова Л.В., Осипов К.А., Сапажкова В.А. Программная реализация манипуляционного кодера Баркера для программируемой логической интегральной схемы	67
12. Белянинов М.О., Полетаев А.С. Система дистанционного контроля и управления радиоизмерительно-го СДВ-ДВ приемника	73
13. Фискин Е.М., Белоусов Р.А., Кокташев А.А., Конопелько Д.В., Со-зонтов Н.С., Латыпов Е.С., Пинкин А.А. Предложение мониторинга трубопроводных систем энергетики на базе ИИС "КУМИР- ресурс"	79
14. Гагарин С. И., Хацкевич Д. В., Полетаев А.С. Формирование радиосигналов на основе полиномов Чебышева	83

15. *Фискин Е.М., Валиулин М.В., Болоев Е.В.* Особенности и преимущества цифровизации сетей низкого напряжения 0,4 кВ на базе ИИС «КУМИР-РЕСУРС» 89
16. *Рябинова К.О., Фискина М.М., Болоев Е.В.* Повышение наблюдаемости с элементами цифровизации и контролем параметров трансформаторной подстанции филиала РТРС «Иркут-ский ОРТПЦ» по низковольтной стороне 95
17. *Казанцев В.А.* Поляризационные особенности радиояркостной температуры льда при его «просветлении» 100
18. *Клюсилов А.В.* Программное обеспечение для вычисления зависимости амплитуды вариаций ПЭС от угла между лучом спутник-приёмник и направлени-ем магнитного поля Земли 105
19. *Козлов А.К.* Теоретические основы исследования теплового излучения пресного ледяного покрова малых толщин 113
20. *Латин А.А., Дмитриев А.А.* Разработка программы для устройства автоматизации системы радиофикации на базе Arduino UNO 117
21. *Прадхан С.В.* Проектирование системы анализа качества воздуха в г. Улан-Удэ 123
22. *Быков А.В.* Исследования радиоканала связи с беспилотными летательными ап-паратами и их применение в чрезвычайных ситуациях 127
23. *Гросс Е.И., Небогин С.А., Инешин Е.И., Иванов Н.А.* Исследование влияния серебряных наночастиц на люминесцентные и генерационные характеристики лазерных красителей 132
24. *Грудинин С.С., Полетаев А.С.* Автоматическое распознавание свистящих атмосфериков с приме-нением метода машинного обучения 138
25. *Хацкевич Д.В., Гагарин С.И., Просвирякова Л.В.* Исследование распространения радиоволн диапазона 2.4 ГГц с исполь-зованием антенны 144
26. *Силаков И.А., Едемский И.К.* Разработка системы предупреждения и исправления ошибок в данных на входе системы ГНСС-исследования ионосферы SIMuRG 149
27. *Воронов К.С., Агеев Р.В., Ишин А.Б.* Реакция ионосферы на солнечные затмения в Северной Америке по данным сети наземных приемников глобальных навигационных спут-никовых систем 155

28. *Агеев Р.В. , Воронов К.С. , Ишин А.Б.* Отклик ионосферы на мощное землетрясение в Японии 1 января 2024 года по данным сети наземных приемников глобальных навигацион-ных спутниковых систем 160
29. *Свешников Д.А., Ченский А.Г.* Создание автоматизированной системы управления термошкафом для обработки резиновых деталей летательных аппаратов 167
30. *С.В. Климин, А.Б. Ишин* Исследование ионосферных возмущений, вызванных сверх-тяжёлой космической ракетой Falcon Heavy 11 апреля и 25 июня 2019 г., по данным сети GEONET 174
31. *Анисимова К.В., Едемский И.К.* Определение пространственно-временных интервалов наблюдения МКС пунктами ГНСС 182
32. *Аршикова А.Г., Леонова Н.В., Дмитриев А.А.* Исследование затухания, возникающего в сетях GPON 188
33. *Котяева К. Н., Леонова Н.В., Дмитриев А.А.* Проектирование сети широкополосного доступа для ПГТ «Ивол-гинск» района республики Бурятия 194
34. *Манзарханов А.Н. , Егоров В.Н.* Экспериментальное исследование характеристик прибора ИРТХ-400 201
35. *Михаханов А.А., Леонова Н.В., Дмитриев А.А.* Статистическая обработка результатов измерения оптического затухания 204
36. *Титов В.Ю.* Модернизация системы охраны склада хранения ВТ и ЗИП 207
37. *Торноев Г.А.* Исследование температурной зависимости диэлектрических парамет-ров материала ТСПК при нагреве 400 °С 213
38. *Худеев А.А.* Расчет краевой емкости плоского конденсатора 216
39. *Хуттунен В.П., Эльхутов С.Н.* Применение одноплатных компьютеров для управления группой беспилотных транспортных средств 220

Научное издание

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ
РАДИОЭЛЕКТРОНИКИ И СВЯЗИ**

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

(г. Иркутск, 16 мая 2024 г.)

Сборник материалов

Подписано в печать 03.10.2024. Формат 60 х 90 / 16
Бумага офсетная. Печать цифровая. Усл. печ. л. 14,5.
Тираж 300 экз. Зак. 104. Поз. плана 10.

Отпечатано в типографии Издательства
ФГБОУ ВО «Иркутский национальный
исследовательский технический университет»
664074, ул. Лермонтова, 83.

