

ISSN 2782-3962

ISSN(online) 2782-3970

ВЕКТОР РАЗВИТИЯ

ВЫПУСК № 10

Сборник докладов инженерных чтений

2021

Акционерное общество «Сарапульский радиозавод»

«ВЕКТОР РАЗВИТИЯ»

Сборник докладов инженерных чтений

Выпуск 10

Сарапул 2021

УДК 621.396.99
ББК 32.84
В26

Главный редактор

Зорькин Г. И., специалист по объектам связи

Редакционная коллегия

Бояришинов М. А., канд. техн. наук, доц., зам. директора КБ «Радиосвязь»

Копысов А. Н., канд. техн. наук, доц., гл. специалист КБ «Радиосвязь»

Марков М. М., канд. техн. наук, доц., гл. конструктор КБ «Радиосвязь»

Рогознев С. В., канд. техн. наук, доц., вед. инженер-конструктор КБ «Радиосвязь»

Шишаков К. В., канд. техн. наук, доц., вед. инженер-конструктор КБ «Радиосвязь»

Коробейников А. В., канд. техн. наук, доц., вед. инженер-программист КБ «Радиосвязь»

Редакционный совет

Савельев А. В., д-р техн. наук, проф.

Сергеев В. Г., тех. директор КБ «Радиосвязь»

Батурин А. С., гл. конструктор, начальник КТЦ

Хворенков В. В., д-р техн. наук, директор КБ «Радиосвязь»

Вектор развития : сборник докладов инженерных чтений / [гл. ред. В26 Г. И. Зорькин]. – Выпуск 10. – Ижевск : Изд-во УИР ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2021. – 156 с.

Сборник предназначен научным сотрудникам, инженерам, преподавателям вузов, аспирантам для публикации научных результатов диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук, а также техническим специалистам, занимающимся проблемами создания технологий радиоприборостроения и телекоммуникационных сетей по специальностям: «Информатика и вычислительная техника», «Электроника, радиотехника и системы связи», «Химические технологии», «Конструирование и производство радиоэлектронной аппаратуры», «Машиностроение».

УДК 621.396.99
ББК 32.84

© АО «Сарапульский радиозавод», 2021

© Оформление. Издательство УИР ИжГТУ
имени М. Т. Калашникова, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

Инженерные чтения

А.Ю. Белоусов А.Ю. Шаимов ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УСТРОЙСТВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ПЛИС.....	5
Г.А. Благодатский, А.Н.Копысов, В.В. Хворенков, И.С. Батулин, А.С. Батулин РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЕ.....	11
К.Г. Гайдабрус ТРАНСЛЯЦИЯ ВИДЕОСИГНАЛА ПО РАДИОКАНАЛУ.....	23
Ю.Т. Загидуллин ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ ПО МНОГОЧАСТОТНОЙ ПРЕАМБУЛЕ.....	27
А.А. Зыкин М.А. Бояршинов РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАДИОЛИНИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ СИГНАЛЫ С ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ.....	35
А.В. Шелухо А.С. Колотов КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ	48
А.Ю. Шаимов РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА УСТАНОВЛЕНИЯ СЕАНСА СВЯЗИ НА MAC УРОВНЕ.....	55
В.В. Жуков ПОСТРОЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ	67
М.А. Грошев ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООТВОДА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ.....	80

А.А. Окатьев МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН, УСТАНОВЛЕННЫХ НА ТРАНСПОРТНОЙ БАЗЕ	87
В.А. Усков ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ О СЕВОВОВРАЩЕНИЯ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ЖЕСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ	98
А. Н. Носков ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ (КЕЙСОВ) МЕТОДОМ РОТАЦИОННОГО ЛИТЬЯ НА АО «СРЗ»	101
Д.Г. Мосунов МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНОГО ТРАКТА ДВУХКАНАЛЬНОГО РЕТРАНСЛЯТОРА РАДИОСИГНАЛОВ	105
А.В. Молчанова ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ И НЕЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ	121
Е.Я. Красноперов ТЕМПЕРАТУРНО-ВАКУУМНАЯ ФОРМОВКА ЛИСТОВОГО ПЛАСТИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НА АО «СРЗ»	126
Н. А. Кардакова ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В РОССИИ И В МИРЕ	133
О.И. Вечтомов ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ УЗЛОВ	144
А. С. Свояков АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В КВ ДИАПАЗОНЕ.....	149

УДК 621.396.621

А. Ю. Белоусов,

А. Ю. Шаимов

Филиал АО «СРЗ» КБ «Радиосвязь», Ижевск, Удмуртская Республика,
Российская Федерация

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЯ УСТРОЙСТВ, РЕАЛИЗУЕМЫХ НА ПЛИС

В данной статье показаны методы оптимизации электропотребления проекта (устройства) с использованием ПЛИС, работа с PowerAnalyzer – встроенной утилитой программной среды разработки QuartusII, а также и пояснены некоторые важные понятия, связанные с динамическим и статическим потреблением мощности.

Ключевые слова: оптимизация электропотребления, портативные устройства, ПЛИС, QuartusII, PowerAnalyzer.

A. Yu. Belousov,

A. Yu. Shaimov

KB «Radiosvyaz», Branch of JSC «SRZ», Izhevsk, Udmurt Republic, Federation

OPTIMIZATION OF POWER CONSUMPTION OF THE FPGA- IMPLEMENTED DEVICES

This article shows methods of power consumption optimizing of a project (device) using FPGAs, working with PowerAnalyzer – a built-in utility of the Quartus II software development environment. Some of the important concepts related to dynamic and static power consumption are also interpreted.

Keywords: optimization of power consumption, portable devices, FPGA, Quartus II, PowerAnalyzer.

Введение

Вопрос уменьшения электропотребления портативных устройств (таких как радиостанции) играет важную роль в процессе проектирования, реализации и их дальнейшего использования. Рациональный подход к решению данного вопроса позволяет создавать автономные по питанию системы, уменьшать размер аккумуляторной батареи, снижать перегрев внутренней электроники, что позволяет, во-первых, облегчить устройство (сократить дополнительные места под систему охлаждения и различных радиаторов), во-вторых, увеличить его сроки службы.

В данной статье рассматриваются методы снижения потребляемой мощности для программируемой логической интегральной схемы (ПЛИС), входящей в портативное устройство.

Потребление ПЛИС

Разделяется на два типа: статическое и динамическое. К первому типу относят потребление безотносительного переключения логических уровней в проекте, потребление конкретной модели устройства ПЛИС; складывается из задействованных банков ввода/вывода, используемой логики, температуры охлаждающей системы (ОС), наличия/ отсутствия кулера и/или теплопровода, температуры контактов, использования I/Os (контактов входа/выхода). Второй тип характеризуется потреблением при перезарядке внутренних емкостей и зависимостью от частоты работы логики, количества и типа используемых ресурсов трассировки (routing).

В среде разработки QuartusII имеется встроенная утилита PowerAnalyzer, которая оценивает динамическое и статическое потребление для готового проекта. В разрабатываемой структурной модели на ПЛИС следует производить расчёт питания исходя из следующих соображений:

1. В Assignments => Settings => Operating Settings and Conditions => Temperature указываем в параметре «Use cooling solution» => «No heat sink with still air» (т.е. без использования теплопровода и кулера).

2. Использовать «Autocompute junction temperature using cooling solution» (автоматический расчёт температуры контактов при том или ином способе охлаждения). Выставляем температуру окружающей среды 80°C (например).

3. Необходимо учитывать поведение каждого сигнала в проекте. Для этого вводятся два термина – toggle rate (частота переключения) и static probability (вероятность нахождения сигнала в устойчивом состоянии «0» или «1»).

4. Правильно задаём все временно-частотные характеристики.

5. Правильно задаём все параметры проекта QuartusII в настройках Pin Planner – это напряжение, логическая структура, I/O банк (порты ввода/вывода).

Поясним важные введённые понятия.

Toggle rate – среднее число переключений ($1 \Rightarrow 0$ или $0 \Rightarrow 1$) сигнала в течение определённого промежутка времени. Измеряется в N (число переключений)/секунду.

Static probability – доля времени, в течение которого сигнал находится в состоянии логической «1». Считается за время анализа работы прибора (например, за сутки) находится в пределах от 0 (всегда на уровне напряжения «земли») до 1 (всегда на уровне напряжения питания).

Динамическое потребление – мощность, которая увеличивается линейно с увеличением параметра toggle rate из-за более частого перезаряда ёмкостной нагрузки. Static probability влияет на статическое потребление из-за токов утечки, что учитывается в PowerPlayAnalyzer'е.

Для всех контактов ввода/вывода (I/O pins) желательно произвести расчёт Toggle Rate и Static probability и вносить данные об этом в Assignment Editor. Ошибочно указанные данные по Toggle Rate вносят наибольший вклад в ошибку расчёта энергопотребления ПЛИС. При расчёте не стоит путать time-averaged toggle rate, т.е. усреднённый за некоторое время параметр с highest possible toggle rate. Highest possible toggle rate – это параметр, используемый на этапе имплементации и I/O Assignment Analysis для проверки целостности сигнала и критичности перекрёстных помех. Для расчёта энергопотребления используется

time-averaged toggle rate, рассчитываемый как количество переключений за секунду. Например, если полсекунды сигнал активен, а полсекунды нет, то количество переключений должно учитывать этот факт. Эти параметры задаются для контактов информационных входов (рис.1).

✓		in	CLOCK_50	Power Toggle Rate	10000	Yes	
✓		in	SW[0]	Power Static Probability	0.001	Yes	

Рисунок 1. Пример указания параметров Toggle Rate и Static Probability в Assignments Editor

Данные о контактах тактовых частот задаются в .SDC файле проекта для временного анализа. Данные о внутренних регистрах рассчитываются на основе синхронного дизайна по заданным частотам в TimeQuestAnalyzer (внутреннее приложение QuartusII).

Для оптимизации электропотребления используют методы:

1. Clockgating/muxing – выключение тактовых частот для частей или модулей проекта.
2. Задание нескольких тактовых частот, отладка проекта на них, переключение между ними в соответствии с режимом работы.
3. Использование сигналов Enable для логики LABs / Les, когда это возможно. (Назначить высокий уровень на вход Enable, а действительный сигнал Enable на вход тактовой частоты CLK. Переключение входа тактовой частоты и работа всего блока происходит только во время записи или чтения.)
4. Изменение кода – это стили описания конечных автоматов, настройки IP ядер, размеры блоков памяти.
5. Использование методов Pipelining и retiming – остановка случайных переключений.
6. Использование настройки компилятора, задание правильных параметров портов ввода/вывода и банков питания в Assignments Editor.

Для мультиплексирования тактовых входов (clk) используется IP ядро ALTCLKCTRL. На рисунке 2 представлен пример настройки блока.

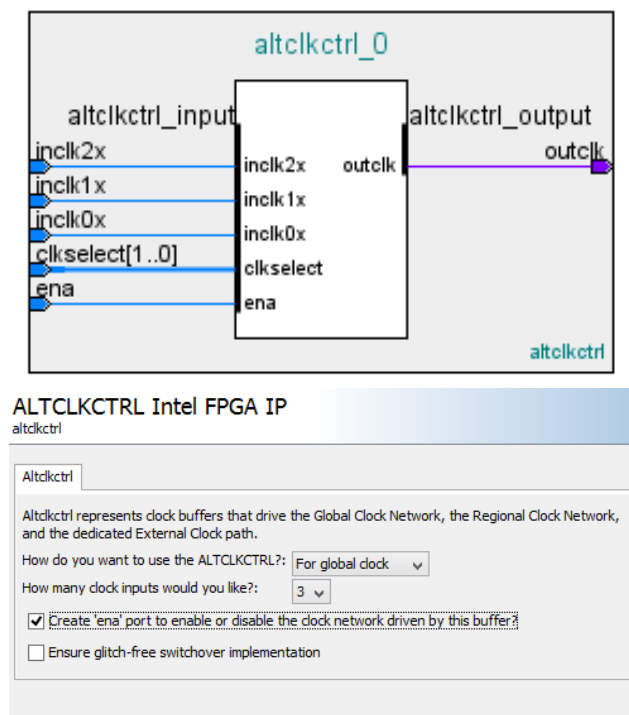


Рисунок 2. IP ядро ALTCLKCTRL и его параметры

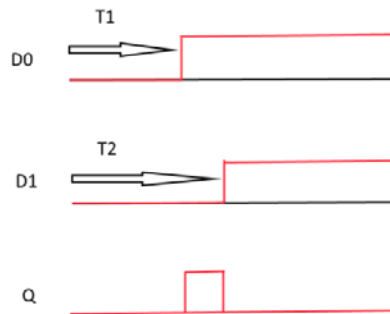
Этот блок использует специализированные линии соединений для тактовых частот, что уменьшает нежелательные последствия. В случае, когда описываем мультиплексирование частоты синтаксисом языка, то задействуем логические блоки LE и линии, неспециализированные для тактовых частот, появляются джиттер (частотная нестабильность) и задержки.

Метод Pipelining для устранения эффектов гонок

При проектировании на ПЛИС необходимо учитывать время распространения сигналов по кристаллу. При этом возникает эффект гонок, когда сигналы доходят до точки назначения с разными временными задержками. С этим эффектом связаны нежелательные переключения состояния элементов, а следовательно, возрастает динамическое потребление схемы. Наиболее подверженный этому явлению элемент, исключаящий ИЛИ (XOR). Таблица истинности представлена на рисунке 3а. При эффекте гонок, даже если состояние элемента должно остаться без изменения, происходит переключения состояния выхода. На рисунке 3б представлен пример временной диаграммы состояния элемента исключаящий ИЛИ, где: D0 и D1 - входы элемента, Q - выход.

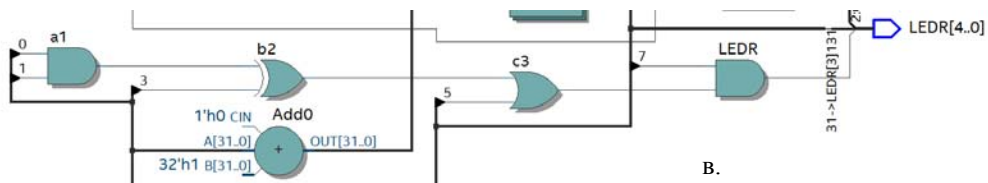
a	b	$a \oplus b$
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	0

а.



б.

Рисунок 3. Явление эффекта гонок с использованием элемента XOR



в.

На рисунке 3в в качестве примера представлен участок схемы, включающий в себя элемент XOR b2. Схема получена при компиляции проекта в среде Quartus II в утилите RTL Viewer. При переключении элемента b2 произойдет и переключение последующих элементов схемы.

Для устранения паразитического динамического потребления используется метод pipelining. При этом на выходе элемента устанавливается регистр. Регистр сохраняет значение на входе по тактовой частоте CLK, поэтому случайные переключения предыдущего элемента схемы будут игнорироваться.

Тем самым устраняется эффект гонок и снижается динамическое потребление схемы. На рисунке 4 представлен пример исправленной схемы с добавлением регистра.

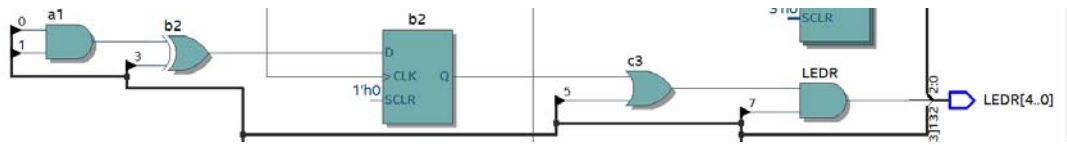


Рисунок 4. Применения метода Pipelining

Этот метод особенно актуален для схем, включающих в себя большое количество элементов комбинаторной логики. Но при этом необходимо учитывать внесенные задержки регистром в логике работы схемы.

Работа с PowerAnalyzer

Для запуска PowerAnalyzer необходимо выполнить следующий порядок: Processing -> Start -> StartPowerPlayPowerAnalyzer. Это необходимо сделать, так как PowerAnalyzer является частью компилятора, но по умолчанию выключен. Есть возможность самостоятельно добавить его подключение к проекту при настройках потока компиляции (рис.5).

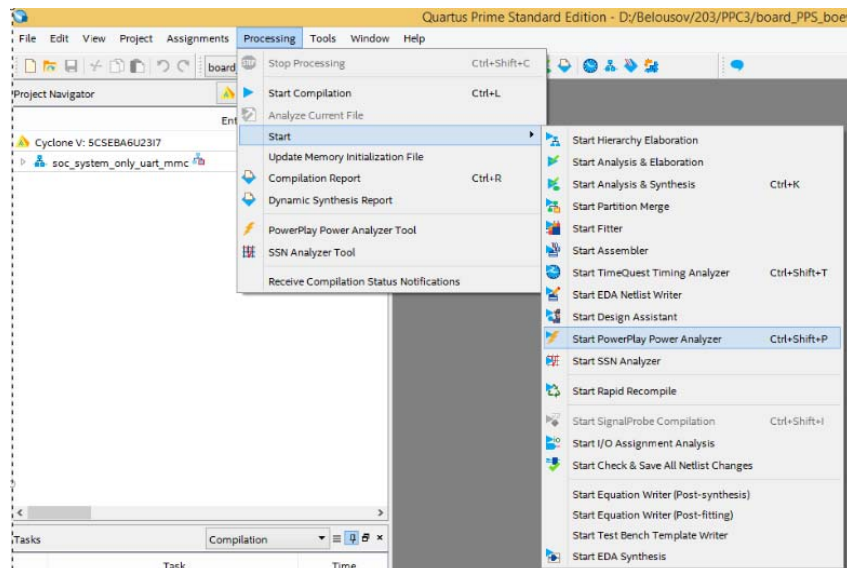


Рисунок 5. Запуск PowerAnalyzer

Отчеты после компиляции этапа PowerAnalyzer приведён на рисунке 6.

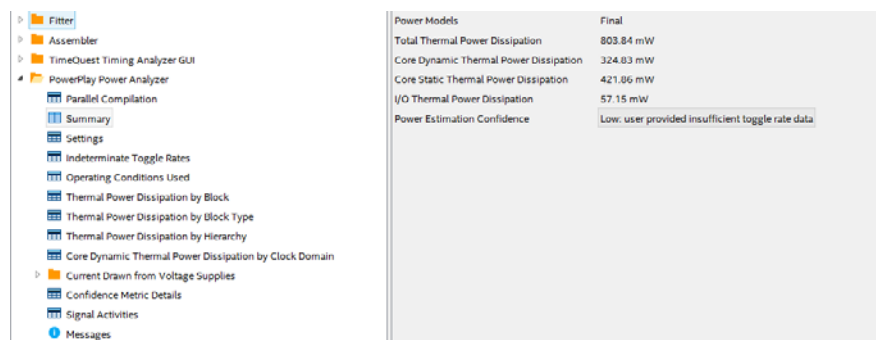


Рисунок 6. Окно отчёта PowerAnalyzer

Итоговый отчёт состоит из общего отчета, настройки, выбранных условий, потребления по блокам, типам блоков, иерархии блоков, по доменам тактовых частот и т.д.

Заключение

Потребляемая мощность является критически важным параметром для разработчиков встраиваемых систем, особенно портативных устройств с батарейным питанием. Правильный выбор архитектуры ПЛИС, используемых для построения системы, позволяет уменьшить энергопотребление и улучшить такие характеристики разрабатываемого приложения как гибкость, стоимость и габаритные размеры.

Встроенные программные возможности среды разработки позволяют оценить потребляемую мощность на разных этапах проектирования системы и создать схемное и топологическое решение, позволяющее снизить энергопотребление разрабатываемого устройства.

Для анализа потребляемой мощности в QuartusII используется утилита PowerAnalyzer. Чтобы получить предварительную оценку потребляемой мощности, необходимо правильно задавать все временные характеристики тактовых частот и сигналов, а также параметры ToggleRate и StaticProbability в AssignmentsEditor. При неправильно заданных параметрах результат работы PowerAnalyzer будет абсолютно некорректным. Также для снижения электропотребления ПЛИС обычно уменьшают динамическое потребление, используют мультиплексирование тактовых частот и отключение подачи частоты в незадействованные в текущий момент времени блоки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Quartus II [электронный ресурс] // Altera [Сайт]. URL: http://altera.ru/soft_quartus.html (дата обращения 13.04.2021).
2. Поляков А. К. Языки VHDL и Verilog в проектировании цифровой аппаратуры. – М.: СОЛОН-Пресс, 2003. – 320 с.
3. СБИС ПЛ подсемейства Cyclone 5 [Электронный ресурс] // ALTERA intel FPGA [Сайт]. URL: <http://altera.ru/sbis-pl-cyclone-IV-E.html/> (дата обращения: 10.05.2019).
4. Ежов В.В. Пути снижения энергопотребления во встраиваемых приложениях на базе DSP и FPGA // Электронные компоненты. - 2009. - No 12.
5. Guochang Z., Baolong G., Xiang G., Jing. M., Hongjie H., Yunyi Y. A FPGA power estimation method based on an improved BP 198 neural network // 57 International Conference on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, 2015

*Г. А. Благодатский,
А. Н. Копысов,
В. В. Хворенков*

Филиал АО «СРЗ» КБ «Радиосвязь», Ижевск, Удмуртская Республика,
Российская Федерация

*А. С. Батурин,
И. С. Батурин*

АО «Сарапульский радиозавод», г. Сарапул, Удмуртская Республика,
Российская Федерация

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМА ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЕ

В работе приведена общая схема гетерогенной системы и режимов ее работы. Определены мощности множеств объектов, работающих в различных режимах. Авторами предложено рассматривать переход информации по маршруту из «своего» режима в «чужой», как «прыжок» в другой режим. Введена мера длины прыжка, для определения эффективности маршрута передачи информации. Показан алгоритм установления соединения между «своей» и «чужой» системой. Показан алгоритм передачи информации о «шлюзах» в свою систему чужим системам. Определены стадии алгоритма передачи информации в гетерогенной среде.

Ключевые слова: эффективность, маршрут, гетерогенность, гиперплоскости, стадия установления сигнала.

*G. A. Blagodatsky,
A. N. Kopysov,
V. V. Hvorenkov*

KB «Radiosvyaz», Branch of JSC «SRZ», Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

*I. S. Baturin,
A. S. Baturin*

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

WORKING OUT OF ALGORITHM OF THE INFORMATION TRANSFER IN THE HETEROGENEOUS ENVIRONMENT

The present scientific paper concerns the general scheme of heterogeneous system and modes of its operation. Capacities of sets of the objects working in different operating modes are defined. The authors offered to consider information transition on a route from "friend" in "foe" mode, as a "hop" in other mode. The hop linear measure for definition of efficiency of information transfer route is entered. The algorithm of establishment of connection between "friend" and "foe" systems is shown. The algorithm of transfer the data of a system gateway to another systems is also detected. Stages of algorithm of data transfer in the heterogeneous environment are defined.

Keywords: efficiency, route, heterogeneity, hyperplanes, stage of signal establishment.

Постановка задачи

Рассмотрим задачу по организации обеспечения сопровождения подвижных объектов. Пусть группа объектов движется по некоторой территории с заданной траекторией движения S (рис. 1 линия S). Объекты снабжены средствами связи, которые могут работать разными способами (в разных «режимах»). Средства связи у объектов разные, поэтому не все режимы работы поддерживаются всеми объектами. В качестве средств связи рассматриваются: связь между подвижными объектами («Сатурн», режим ретрансляции БПЛА), взаимодействия с территориально-закрепленными органами самоуправления (APCO-25, TETRA, DMR), сторонними объектами («Акведук», «Аксион», «Азарт», «ПРИМА»), спутниковая связь.

Но у группы объектов есть один общий режим работы («Режим 0» - система «Сатурн»), в котором граф взаимодействия средств связи является сильно-связным (все объекты могут взаимодействовать со всеми). На рис. 1. синим цветом обозначена группа приемников-передатчиков («свои»), работающая в установленном режиме («Режим 0»). При нарушении связности графа предполагается ее восстановление посредством «Режима 0'» - связь через ретрансляцию с применением БПЛА. При перемещении в пространстве по заданной траектории эта группа попадает в зоны действия сторонних сетей приемников-передатчиков («чужие»): зона действия «Режима 1» («Зона А» - зеленые пиктограммы), зона действия «Режима 2» («Зона В» - желтые пиктограммы), зона действия «Режима N» («Зона N» - красные пиктограммы). При первоначальном входе в зону действия какого-либо «чужого» режима «свои» должны установить связь с элементами «чужой» сети (установить соединение). При этом передача информации о попадании в зону может быть организована в дуплексном режиме (элементы «своей» сети настраиваются на работу в «чужом» режиме и могут являться «шлюзами» для передачи сообщений между «чужой» и «своей» сетями). Данная настройка сопряжена с дополнительными действиями по установке и настройке соединения (затрата ресурсов). Поэтому при передаче сигнала через «шлюз» можно рассматривать изменение режима передачи информации, как «прыжок» в другой режим (возможно изменение всех параметров передачи сигнала – частоты, полосы, типов СКК). При проведении прыжка, граф «режима 0» проецируется на гиперплоскость чужого режима, как несколько «шлюзов» в различных режимах (после прыжка маршрут нужно прокладывать в новом графе, сформированном на гиперплоскости). Вследствие этого, необходимо ввести многомерную характеристику радиолинии между «своим» и «чужим» элементами сети для измерения «длинны» «прыжка» (формула (5) для оценки стадии установления сигнала). Данная характеристика будет использоваться для построения маршрутов передачи информации в сложной гетерогенной среде «своих» и «чужих» приемников-передатчиков.

Задача маршрутизации в гетерогенной системе относится к классу NP – трудных задач, и как следствие, плохо поддается оптимизации путем перебора вариантов маршрута, за приемлемое время. Но, количество узлов сети, на практике, ограничено для «режима 0» - 15-20 элементов, «режима 0'» - 1-2 элемента, для остальных режимов 3-5 элементами. Поэтому, можно организовать направленный поиск маршрутов переборным алгоритмом на одном из узлов сети «режима 0» и рассылку корректирующей информации по остальным узлам сети «режима 0» и «шлюзам» «чужих» режимов.

В силу особенностей задачи, расстояние между первыми объектами в «своей» группе и последними может достигать сотен и тысяч километров. Поэтому вопрос об обеспечении связи между ними является актуальным.

Математическая модель гетерогенной системы

Представим данную среду, как взвешенный, ориентированный граф $G = (V, C)$. Граф содержит множество узлов $V = \{V_i\}$ и множество дуг $C = \{C_j\}$. Каждая дуга графа C_i соответствует конкретной радиолинии рассматриваемой радиосистемы, где $C_i = \{V_k, V_b, c_i^e\}$ – дуга, ведущая из вершины V_k к вершине V_b , с весом c_i^e . Вес дуги $c_i^e = \left\| \{l_j\} \right\|, j = \overline{1, n}$, (где l_j – характеристики радиолинии, влияющие на эффективность передачи данных по ней) определяется как норма вектора l . Типовые l_j – энергия, затрачиваемая на передачу единичного объема информации; соотношение сигнал-шум в канале; скорость передачи единицы информации; задержка при передаче единицы информации, стоимость в денежном выражении на передачу единицы информации.

Определим вес дуги c_i^e , как показатель [1] *эффективности связи*,

$$c_i^e = \left\| l_j \right\|_1^n = \sum_{j=1}^n w_j l_j, \quad (1)$$

где w_j – вклад параметра l_j радиолинии C_i в общую эффективность передачи данных c_i^e этой линии.

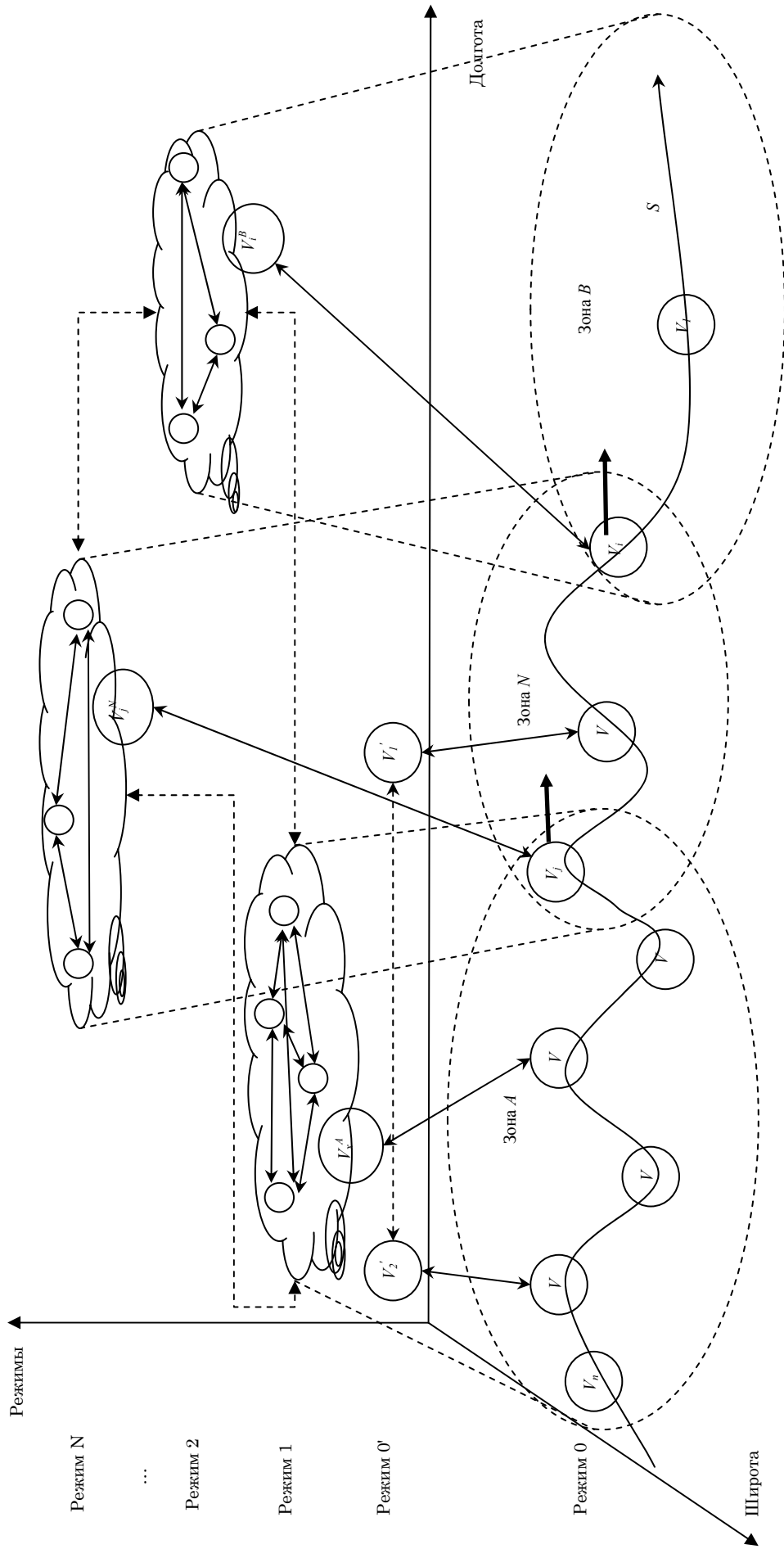


Рис. 1. Гетерогенная среда приемников-передатчиков

Вектор w определяется при анализе иерархической структуры воздействия параметров радиолинии на прием-передачу сообщений между узлами V_i и V_j [3, 4]. Узлы гетерогенной среды представлены несколькими типами радиостанций $T = \{T_i\}$ (рис. 2, различные типы штриховки).

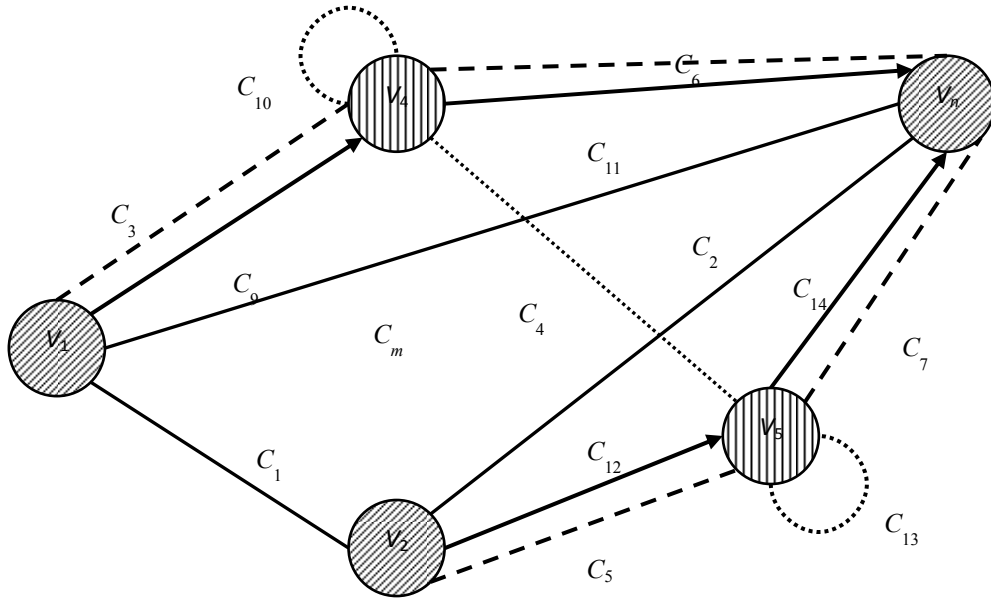


Рис. 2. Гетерогенная среда передачи информации.

Вектор w определяется при анализе иерархической структуры показателей радиолинии, показывающей воздействие управляющих параметров на прием-передачу сообщений между узлами V_i и V_j при разных целях [1].

Введем функцию расчета веса дуги графа f_1 :

$$f_1(\vec{x}) = f_1(\{V_i, V_j\}) = f(C_{V_i V_j}) = c_{V_i V_j}^e, \quad (2)$$

где, $c_{V_i V_j}^e$ рассчитывается по формуле (1), а весовые коэффициенты w_j вклада параметров l_j радиолинии $C_{V_i V_j}$ рассчитываются по алгоритму метода анализа иерархий в соответствии с иерархической структурой [3].

В гетерогенной среде передачи информации существуют установившиеся маршруты передачи информации. При изменении существующих маршрутов затрачиваются ресурсы на переключение узла с одной радиолинии на другую. Данное переключение позволяет повысить общую эффективность передачи информации по маршруту, несмотря на затраченные ресурсы, так как прежний маршрут передачи информации может быть еще более затратным.

Необходимо учитывать вероятность p_{ij} успеха установления соединения при реализации маршрута передачи информации между узлами графа с переключением радиолиний.

Введем обозначение маршрута передачи данных

$$M_i = \{C_j\} \subset C_{V_k}^i, i = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где m – количество альтернативных маршрутов, $\{C_j\}$ – подмножество множества дуг графа, принадлежащего маршруту M_i из вершины V_l в вершину V_k .

Введем функцию f_2 построения маршрутов M_i :

$$f_2(\overset{1}{x}) = f_2(\{V_l, V_k\}, G = Routes(\{V_l, V_k\}, G)), \quad (4)$$

где $\overset{1}{x} = \{V_l, V_k\}$, $Routes(\{X, Y\}, G)$ – алгоритм нахождения m лучших маршрутов на графе G между вершинами X и Y графа G [7]. Функция f_2 выдает $\{M_i\}$, $i=1, \dots, m$.

Будем рассматривать эффективность передачи данных по маршруту $M_{V_k V_l}$, в виде мультипликативной модели

$$M_{V_k V_l}^e = \prod_{i \in M_{V_k V_l}} c_i^e p_i, \quad (5)$$

где, V_k – начало маршрута, V_l – конец маршрута, i – номер дуги, входящей в маршрут $M_{V_k V_l}$, c_i^e – длина i -й дуги, p_i – вероятность успешной передачи данных по i -ой дуге.

Введем функцию f_3 для определения наиболее эффективного маршрута:

$$f_3(\overset{1}{x}) = \max_{i=1, \dots, m} M_i^e, \quad (6)$$

где $\{M_i\} = f_2(\overset{1}{x})$, $\overset{1}{x} = \{V_l, V_k\}$, а M_i^e определяется по формуле (5).

Рассмотрим переход из зоны «А» в зону «N» (рис. 1 объект V_j переходит из «зоны А» в «зону N» области в красную). Для этого он должен осуществить перенастройку приемно-передающей аппаратуры в режим «N». После скачка в режим «N» объект должен посылать сигналы в сеть, работающую в режиме N и слушать ответ сети. При получении ответа от объекта «чужих» (конкретный объект «чужих» определяется случайно – в зависимости от текущего положения объектов «чужих» в пространстве зоны «N») начинается стадия установления соединения (рис. 2). Длины дуг графа, по которым будут соединяться объекты «своих» и «чужих», определяются по формуле (1).

Шлюз определяется по формуле:

$$V_x = \underset{V_i \in G}{\text{Argmax}} f_3(f_2(\{V_x, V_l\})), \quad (7)$$

Пусть объект V_1 «своей» сети должен передать сообщение объекту V_5 «чужой» сети. Стадия установления соединения (рис. 2) при этом будет состоять из пересылки тестовых сообщений между узлами V_1 и V_4 (это объект, обладающий наилучшими показателями длин дуг для установления сигнала среди всех ответивших объекту V_1 (7)) по маршруту $M_1 = \{C_3, C_{10}, C_3, C_9, C_3, C_9\}$ (6).

Эффективность маршрута M_1 (7), определяется после стадии выполнения стадии установления сигнала:

$$M_1^e = M_{V_1 V_5}^e = \prod_{i \in M_1} c_i^e p_i = (c_3^e p_3)^3 (c_9^e p_9)^2 (c_4^e p_4),$$

где c_i^e - эффективность i -ой радиолинии по формуле (1).

После прохождения этой стадии осуществляется передача информации нужному объекту «чужих» V_5 (пусть V_5 определен маршрутным заданием). Сеть чужих сама определяет маршрут передачи информации. Вся информация между сетью режима « N » и режима «0» осуществляется через установившийся канал. При потере канала (соотношение «сигнал-шум» в канале $> 10^{-2}$) требуется заново повторить стадию установления «шлюза» между сетью «своих» и «чужих», используя для этого «свои» объекты, находящиеся в зоне « N » и имеющие для этого возможности (поддержка режима « N »). Например, использовать для соединения объект V_2 (рис. 4), тогда стадия установления сигнала будет состоять из прохождения маршрута $M_2 = \{C_1, C_5, C_{13}, C_5, C_{12}, C_{13}, C_5, C_1\}$, с эффективностью:

$$M_2^e = M_{V_1 V_5}^e = \prod_{i \in M_2} c_i^e p_i = (c_1^e p_1)^2 (c_{13}^e p_{13})^2 (c_5^e p_5)^2 (c_{12}^e p_{12})^2.$$

Способы решения задачи маршрутизации в гетерогенной среде

Задачу организации обеспечения взаимодействия можно разделить на две подзадачи:

1. Обеспечение возможности организации передачи из «своей» сети в «чужую»;
2. Определение маршрутов передачи информации в гетерогенной среде, с учетом трудности осуществления «прыжков» при переходе информации по маршруту.

Первая задача решается путем включения в «свою» сеть поддержки функционирования радиолиний в предполагаемых на маршруте следования зонах покрытия «чужими» сетями (зоны « A », « B », ..., « N »). Данная задача сопряжена с рядом трудностей: обеспечение полнодуплексного режима работы на разных частотах объектом «своих», обеспечение выполнения маршрутизации в «чужой» сети (необходимо определить начальную точку входа информации «шлюз 1» и конечную точку выхода информации «шлюз 2» в «своей» и «чужой» сетях), преодоление административных барьеров, формирование маршрутных заданий.

Пусть в каждой точке маршрута S «шлюзы» «своих» знают географические координаты, тогда, при начальной настройке системы маршрутизации, можно указать им регламент и протоколы взаимодействия с сетью «чужих», в зоне покрытия которой они должны находиться (рис. 1 широта и долгота точек маршрута S при вхождении в зоны « A », « B », ..., « N »).

Информацию о выбранном маршруте будем использовать для уточнения локальных Q -таблиц маршрутизации (уменьшения весов для участвующих в маршруте узлов - организация обратной связи при обучении системы маршрутизации). Учитывая приведенные обстоятельства, предложен алгоритм настройки системы маршрутизации для повышения эффективности передачи информации в гетерогенной среде приемников-передатчиков [6].

Приведем пример решения второй подзадачи задачи организации обеспечения взаимодействия – определение маршрутов передачи информации в гетерогенной среде. Пусть необходимо отправить сообщение от первого по маршруту объекта «своей» группы (V_1) к последнему (V_n). При сильной связности графа сообщение передается по каналу в «режиме 0». С эффективностью $M_x^e = M_{V_1 V_n}^e = \prod_{i \in M_x} c_i^e p_i = c_m^e p_m$ (рис. 2 объекты V_1 и V_n ребро C_m). При нарушении связности графа в «режиме 0» необходимо перестроить маршрут.

Алгоритм маршрутизации в гетерогенной среде.

Первый шаг алгоритма - выбор варианта маршрута:

- 1) Задействовать «режим 0»;
- 2) Организовать передача информации в гетерогенной среде (режимы 0 – N).

Если выбран первый вариант маршрута (работу через «режим 0»), то передача данных пройдет в близкой к «своему» режиму сети с «режимом 0» (ретрансляция). В этом случае можно задействовать объекты V_2 и V_{n-1} , которые имеют возможность организации передачи данных в «режиме 0» (стадия установления соединения между объектами режима 0' проходит по схеме аналогичной установлению соединения с «чужим» режимом). Объекты V_1 и V_n знают шлюзы «режима 0» V_2 и V_{n-1} и используют заранее настроенный способ передачи информации через «режим 0». Таблицы маршрутизации при этом не перестраиваются.

Если выбран второй вариант маршрутизации (рис. 3, толстая линия), то алгоритм передачи информации в гетерогенной среде включает в себя следующие шаги:

1. Определение возможных шлюзов между режимами;
2. Передача между разными сетями идентификаторов шлюзов (для построения маршрута внутри сети). Стадия контролируется сетью «режима 0»;
3. Построение маршрута с использованием установленных шлюзов (изменение локальных таблиц маршрутизации [2]).

При перемещении в пространстве объекты проходят стадии установления сигнала в соответствующих зонах покрытия чужих сетей. При этом рассчитывается длина дуги для передачи и приема информации через «шлюз» (вычисление f_1 (2)), устанавливаются маршруты M_i передачи информации до заданного узла в чужой сети (f_2 (4)), рассчитывается эффективность маршрутов передачи информации через шлюз до заданного узла в чужой сети (f_3 (6)). Определяется шлюз в сети «режима N» (7). В соответствии с алгоритмом реагирования на исключительное событие в окружающей систему среде [5], происходит фиксация изменений в окружающей среде функционирования системы (конфигурационное сообщение о том, что шлюз между режимами установлен, рассылается в виде измененных локальных таблиц маршрутизации) [6]. После этого «свои» устройства системы знают идентификаторы шлюзов в «чужих» режимах. Сеть «режима 0» может управлять маршрутизацией своих сообщений, передавая сведения о ближайших шлюзах «чужим» сетям.

Пусть необходимо решить задачу о передаче информации от V_i к V_n . Объект V_i входит в «зону B», и регистрируется в сети с «режимом 2». Он

передает сети «режима 2» задание отправить сообщение через ближайший шлюз предыдущей «зоны N » «режима 0» – V_x .

Сеть, функционирующая в «зоне B », направляет сообщение своему шлюзу в «зоне N » (шлюзу между режимами 2 и N) сообщение объекта V_i к V_x . Сеть «зоны N » направляет сообщение объекту V_j . Если V_j имеет связь через «режим 0» или «режим 0'» с объектом V_n , то сообщение передается ему. В противном случае V_j повторяет действия V_i , указывая новый шлюз V_m предыдущей зоны. Построенный маршрут используется для передачи сообщений между V_i и V_n до восстановления связности графа сети «режима 0».

Заключение

В работе приведена общая схема гетерогенной системы и режимов ее работы. Определены мощности множеств объектов, работающих в различных режимах. Авторами предложено рассматривать переход информации по маршруту из «своего» режима в «чужой», как «прыжок» в другой режим. При этом маршрут переходит в другую среду с новым графом смежности (он является проекцией «шлюзов» на «чужой» режим – новую гиперплоскость). Введены мера длины прыжка f_1 (2), функция установления шлюза f_2 (4) и функция определения оптимального маршрута передачи информации f_3 (6), для определения эффективности маршрута передачи информации (5). Показан алгоритм установления соединения между «своей» и «чужой» системой. Показан алгоритм передачи информации о «шлюзах» в свою систему чужим системам. Определены стадии алгоритма передачи информации в гетерогенной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Благодатский Г.А., Копысов А.Н., Хворенков В.В., Батурин И.С. Анализ иерархической модели автоматизированной системы управления параметрами радиолиний когнитивной радиосистемы // Научные исследования в космических исследованиях Земли. 2018. Т. 10. № 6. С. 51–67. DOI: 10.24411/2409-5419-2018-10187.
2. Благодатский Г.А., Копысов А.Н., Хворенков В.В., Батурин И.С. Алгоритм управления режимами работы системы когнитивного радио // Вестник ИжГТУ имени М. Т. Калашникова. 2019. Т. 22, № 4. С. 93–106. DOI: 10.22213/2413-1172-2019-4-93-106.
3. Blagodatsky G.A., Kopysov A.N., Khvorenkov V.V., Baturin I.S. Research and development of hierarchical models of automated control systems for the parameters of the radio-line of the cognitive radio system // 2019 J. Phys.: Conf. Ser.1368 042001. DOI: 10.1088/1742-6596/1368/4/042001.
4. Копысов А.Н., Благодатский Г.А., Хворенков В.В. К вопросу применения метода парных сравнений при разработке когнитивных систем связи // Сборник материалов VI Всероссийской научно-практической конференции Технологии разработки и отладки сложных технических систем / Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана, Центр инженерных технологий и моделирования «Экспонента». Москва, 27–28 марта 2019 г. – М.: Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана. 2019. с. 106 – 115.
5. Blagodatsky G.A., Kopysov A.N., Khvorenkov V.V., Baturin I.S. System analysis of the cognitive radio system operation algorithm efficiency // 2020 IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 862 042018. DOI: 10.1088/1757-899X/862/4/042018.
6. Благодатский Г.А., Копысов А.Н., Хворенков В.В., Батурин А.С. Разработка метода принятия решений об эффективных маршрутах передачи информации в

гетерогенной среде приемников-передатчиков // Сборник материалов Второго республиканского форума Молодежь и Инновации: Развитие научно-инновационного потенциала региона / Ижевский Государственный Технический Университет им. М.Т. Калашникова. Ижевск, 28 – 29 октября 2020 г. – Ижевск.: Ижевского Государственного Технического Университета им. М.Т. Калашникова. 2021. с. 11 – 20.

7. Yen, Jin Y. (1970). "An algorithm for finding shortest routes from all source nodes to a given destination in general networks". Quarterly of Applied Mathematics. 27 (4): 526–530. doi:10.1090/qam/253822.

УДК 004.72

К. Г. Гайдабрус

Филиал АО «СРЗ» КБ «Радиосвязь», Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

ТРАНСЛЯЦИЯ ВИДЕОСИГНАЛА ПО РАДИОКАНАЛУ

В статье представлено описание современных систем передачи данных и характеристик оборудования.

Ключевые слова: передача данных, качество видео, Wi-Fi, Bluetooth, сотовая связь.

K. G. Gaidabrus

KB «Radiosvyaz», branch of JSC «SRZ», Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

VIDEO SIGNAL BROADCAST ON THE RADIO CHANNEL

The present paper describes modern data transmission systems and equipment characteristics.

Keywords: data transfer, video quality, Wi-Fi, Bluetooth, cellular communication

Введение

В современном мире часто возникает необходимость транслировать видеосигнал с помощью систем беспроводной передачи данных. От характеристик этих систем и оборудования зависит качество сигнала, а также расстояние, на которое его можно передать.

Беспроводная передача данных

БПД - это перенос информации от одного устройства к другому, которые находятся на определенном расстоянии, без участия проводного подключения. Существует несколько способов синхронизации устройств для осуществления передачи данных. Каждый из них используется в определенной области и обладает индивидуальными свойствами. Беспроводные сети передачи данных отличаются своими характеристиками, поэтому минимальное и максимальное расстояние между устройствами, в зависимости от вида технологии передачи информации, будет различно. Для синхронизации устройств по радиоканалу устанавливаются специальные адаптеры, которые способны отправлять и получать информацию. Передача осуществляется посредством каналов разных частот и диапазонов.

Качество видео

Основным критерием передачи видеосигнала является качество полученного видео. Возможность трансляции видео высокого качества напрямую зависит от скорости передачи, чем выше скорость, тем выше качество. Зависимость качества видео от скорости передачи представлена в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость качества видео от скорости передачи данных

Качество трансляции	Скорость для 30 кадров в секунду	Скорость для 60 кадров в секунду
2160p	35 Мбит/с	53 Мбит/с
1440p	16 Мбит/с	24 Мбит/с
1080p	8 Мбит/с	12 Мбит/с
720p	5 Мбит/с	7.5 Мбит/с
480p	2.5 Мбит/с	4 Мбит/с
360p	1 Мбит/с	1.5 Мбит/с

Системы передачи данных

Рассмотрим основные системы передачи данных, которые сегодня используются повсеместно.

Bluetooth

Технология основана на передаче данных по радиоволнам. Bluetooth работает на частотах 2402-2480 МГц, что соответствует частотам бытовых сетей. Принцип действия этой беспроводной технологии: приёмник и передатчик устанавливают связь друг с другом и передают данные по одному из 79 каналов. При этом частота передачи меняется 1600 раз в секунду, что обеспечивает возможность работы сразу нескольких устройств, расположенных рядом. Они не будут перекрывать друг другу частоты для передачи и смогут работать параллельно. Такая функция также отвечает и за безопасность передаваемой информации, ведь следующая частота вычисляется псевдослучайным образом и известна только тем устройствам, которые и производят обмен. Перехватить такой поток информации затруднительно. Характеристики Bluetooth представлены в таблице 2.

Таблица 2. Характеристики Bluetooth

Класс	Мощность передатчика	Радиус действия	Скорость передачи	Частота	Полоса частот
1	100 мВт	100 м	1 Мбит/с	2.4 ГГц	2,402 — 2,48 ГГц
2	2.5 мВт	10 м	2 Мбит /с	2.4 ГГц	
3	1 мВт	1 м	11-54 Мбит/с	2.4 ГГц	

Как можно заметить, Bluetooth обеспечивает высокую скорость передачи данных при невысокой мощности передатчика, однако радиус действия остается небольшим. На радиус действия сильно влияет наличие препятствий.

Wi-Fi

Wi-Fi – это технология беспроводной передачи данных в рамках локальной сети, осуществляемой устройствами на основе стандарта IEEE 802.11. Принцип работы беспроводной сети Wi-Fi состоит в передаче зашифрованных сигналов с помощью сверхвысокочастотных радиоволн на расстояние до нескольких десятков метров. Для этого необходимо создание точки доступа на устройстве, которая будет обеспечивать стабильный доступ сети. Такой точкой доступа может быть роутер, модем или мобильный телефон. Характеристики Wi-Fi представлены в таблице 3.

Таблица 3. Характеристики Wi-Fi

Поколение	Мощность передатчика	Радиус действия	Скорость передачи	Частота	Ширина полосы
Wi-Fi 1	100 мВт	До 80 м	До 11 Мбит/с	2.4 ГГц	21 МГц
Wi-Fi 2			До 54 Мбит/с	2.4 ГГц	
Wi-Fi 3			До 54 Мбит/с	2.4/5 ГГц	

При небольшой мощности передатчика Wi-Fi позволяет добиться высокой скорости передачи. Проблемой является значительное падение скорости при увеличении дистанции между приемником и передатчиком. Наличие препятствий на пути также влияет на скорость и радиус действия.

Сотовая связь

Характеристики сотовой связи представлены в таблице 4.

Таблица 4. Характеристики сотовой связи

Поколение	Технология	Скорость передачи данных	Радиус действия	Рабочие частоты
1G	AMPS	до 2 кбит/с	до 30 км	824–894 МГц
	NMT	до 1.9 кбит/с	до 40 км	453–467.5 МГц (NMT-450) и 890–960 МГц (NMT-900)
2G	D-AMPS	до 15 кбит/с	до 30 км	400–890 МГц
	GSM	до 9.6 кбит/с	до 80 км	824–894 МГц (GSM-850), 890–960 МГц (GSM-900), 1710–1880 МГц (GSM-1800) и 1850–1990 МГц (GSM-1900)
2.5G	GPRS	до 171.2 кбит/с	до 40 км	Все частоты GSM
2.75G	EDGE	до 474 кбит/с	до 4 км	Все частоты GSM

Продолжение таблицы 4

3G	CDMA	до 500 Мбит/с (EV-DO Rev.D)	до 35 км	1.25–2100 МГц
	UMTS	до 7.2 Мбит/с	до 1.5 км	1885–2200 МГц
3.5G	HSPA	до 14.4 Мбит/с	до 2 км	Диапазон UMTS
3.75G	HSPA+	до 42.2 Мбит/с	до 2 км	Диапазон UMTS
4G	LTE	до 326.4 Мбит/с (LTE-A)	до 19.7 км	1400–2000 МГц
	WiMAX	до 75 Мбит/с	до 80 км	1.5–11 ГГц

По сотовой связи тоже можно передавать данные. Мощность передатчика сотовой станции доходит до 20 Вт, что обеспечивает большой радиус действия – до 80 километров в полевых условиях и до 20 километров в условиях городской застройки. При этом современные технологии обеспечивают высокую скорость передачи данных.

Заключение

В данной статье рассмотрены популярные системы беспроводной передачи данных и произведены сравнения их характеристик. Определены параметры скорости передачи для трансляции видео. К сожалению, в статье представлены лишь немногие системы беспроводной передачи данных, более обширный список можно изложить в будущих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джамалипур А. Беспроводной мобильный интернет: архитектура, протоколы и сервисы: Пер. с англ. — М.: Техносфера, 2009. — 69 с.
2. Гейер Д. Беспроводные сети. Первый шаг: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильяме», 2005. — С. 90-117.

Ю. Т. Загидуллин,
Филиал АО «СРЗ» КБ «Радиосвязь», Ижевск, Удмуртская Республика,
Российская Федерация

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ КАНАЛА СВЯЗИ ПО МНОГОЧАСТОТНОЙ ПРЕАМБУЛЕ

Рассматриваются способы оценки таких параметров канала связи, как отношение сигнал-шум и частотная характеристики. Многочастотная преамбула используется для обнаружения и синхронизации сигналов. Однако наличие нескольких разнесенных по полосе частотных составляющих позволяют относительно легко осуществить оценку ОСШ. Поскольку обнаружение предшествует синхронизации, точность оценки ОСШ будет зависеть от частотного рассогласования между переданным и принятым сигналами. В работе предложены способы минимизации ошибки при оценивании ОСШ, основанные на оконной обработке сигналов.

Ключевые слова: оценка канала, отношение сигнал-шум, многочастотная преамбула.

Yu. T. Zagidullin
KB «Radiosvyaz», branch of JSC «SRZ», Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

CHANNEL ESTIMATION BASED ON MULTIFREQUENCY PREAMBLE PROCESSING

In the present paper, channel estimation parameters, such as signal-to-noise ratio and frequency response, are considered. Multifrequency preamble is used for signal detection and synchronization. SNR estimation can be easily achieved using several frequency components spaced within a signal band. Since detection precedes synchronization, accuracy of SNR estimation depends on the carrier-frequency offset between transmitted signal and received signal. Based on windowing method, ways of minimization of estimated SNR error are proposed.

Keywords: channel estimation, signal-to-noise ratio, multifrequency preamble

Введение

Обнаружение сигнала осуществляется по преамбуле – части сигнала, формируемой непосредственно перед передачей данных. Преамбула также используется для начальной синхронизации всей системы связи[1]. В общем случае многочастотная преамбула состоит из N символов OFDM, в каждом из которых одновременно формируются K тонов (рисунок 1). В дальнейшем будем предполагать, что обнаружение 6-частотной преамбулы ($K=6$) осуществляется по $N=5$ символам.

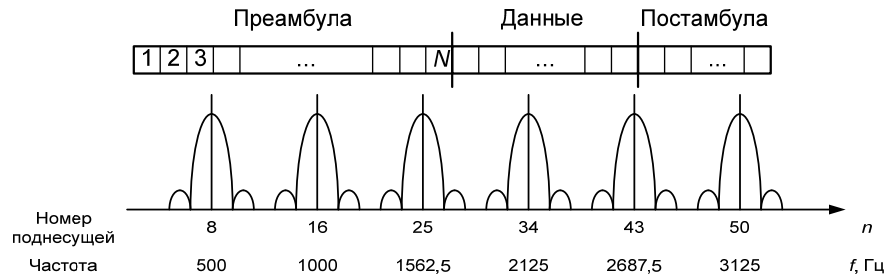


Рис. 1. Структура сигнала и спектр 6-частотной преамбулы

В основе алгоритма обнаружения лежит вычисление мощности сигнала на каждой поднесущей и определения относительного отклонения энергии на каждом преамбульном тоне r_i по формуле[2, 3]:

$$r_i = \frac{W_i^{\text{PPM}} - W_{\text{ш}}}{W_i^{\text{PPM}}} = 1 - \frac{W_{\text{ш}}}{W_i^{\text{PPM}}}, \quad (1)$$

где W_i^{PPM} - энергия на i -ой преамбульной частоте, $W_{\text{ш}}$ - средняя энергия шума (энергия на непреамбульных тонах), $i = 1 \dots M$, M - количество преамбульных тонов.

Для минимизации ошибки при вычислении отношения r_i , обусловленной частотным сдвигом, энергию W_i^{PPM} необходимо вычислять как сумму энергий на i -ой преамбульной частоте f_i и соседними с ней частотами, т.е:

$$W_i^{\text{PPM}} = W(f_i) + W(f_{i-1}) + W(f_{i+1}). \quad (2)$$

В противном случае, энергия на преамбульной частоте будет уменьшаться, а средняя энергия шума увеличиваться за счет смещения максимума и нулей в спектре (рисунок 2).

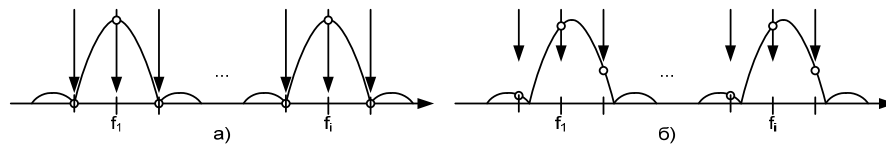


Рис. 2. Спектр преамбулы без частотного сдвига (а), с частотным сдвигом (б).

Оценка отношения сигнал/шум по преамбуле

Определение значения отношения сигнал/шум является одним из требований, предъявляемых к современным системам беспроводной связи. Знание этого параметра позволит оценить состояние канала связи и может быть использовано для изменения параметров передачи данных, таких как помехоустойчивое кодирование и модуляция сигнала, с целью повысить качество передачи информации. Оценка ОСШ необходима в адаптивной связи, при пакетной передаче данных, а также при синхронизации сигналов OFDM.

Исследованию оценки ОСШ посвящено множество научных трудов, предложены различные способы оценки этого параметра. Однако большинство из них основаны на двух типах оценки:

- оценка ОСШ по сигналу во временной области;
- оценка ОСШ по энергетическому спектру сигнала в заданной полосе.

Первый способ находит применение, например, в блоке автоматической регулировки усиления сигнала (АРУ). В этом случае вычисляется энергия сигнала на некотором заданном интервале времени. В момент, когда передача данных прекращается, вычисляется мгновенная энергия шумовой составляющей сигнала.

Использование второго способа подразумевает знание структуры сигнала в частотной области. При этом вычисляется энергия на частотах, где сигнал присутствует и на всех остальных частотах в пределах заданной полосы. Далее определяется их отношение. Данный способ может быть более чувствительным по отношению к неопределенности по временному и частотному сдвигу и требует точной синхронизации.

В данной статье рассматривается алгоритм оценки ОСШ по преамбуле сигнала OFDM. Основная идея заключается в вычислении энергии на преамбульных тонах и сравнении их с суммарной энергией на непреамбульных тонах. Вычисление энергии производится по энергетическому спектру сигнала OFDM в полосе 3,1 кГц. Поскольку поднесущие сигнала OFDM расположены ортогонально, то энергия на непреамбульных тонах будет соответствовать энергии шума. В конечном счете, оценка ОСШ будет сведена к оценке отношения сигнал+шум к шуму (SINAD), определяемому по формуле:

$$\rho_{SINAD} = \frac{P_C + P_{Ш} + P_{И}}{P_{Ш} + P_{И}}, \quad (3)$$

где, P_C - энергия сигнала, $P_{Ш}$ - энергия шума, $P_{И}$ - энергия сторонних искажений.

Это связано с тем, что аддитивный белый гауссов шум (АБГШ) накладывается равномерно по всей полосе частот, поэтому энергия на преамбульном тоне равна сумме энергии сигнала и части энергии шума.

Оценка ОСШ будет производиться в блоке обнаружения и синхронизации сигнала.

Как видно из формул (1) и (2), значение отношения сигнал/шум ρ можно выразить через величину r_i :

$$r_i = 1 - \frac{W_{Ш}}{W_i^{ППМ}} = 1 - \frac{\frac{1}{N_{Ш}} \sum W_i^{Ш}}{W_i^{ППМ}} \Rightarrow \frac{W_i^{ППМ}}{\sum W_i^{Ш}} = \frac{1}{N_{Ш}(1-r_i)}$$

$$\rho = \frac{\sum W_i^{ППМ}}{\sum W_j^{Ш}} = \frac{1}{N_{Ш}} \sum_{i=1}^{N_{ППМ}} \frac{1}{(1-r_i)}, \quad (4)$$

где $N_{ППМ} = 6$ - количество преамбульных тонов, $N_{Ш} = 30$ - количество непреамбульных тонов.

Данная оценка ОСШ будет иметь малую погрешность при больших значениях ОСШ. При вычислении малых ОСШ нужно будет учитывать, что энергия на преамбульном тоне также содержит шумовую составляющую.

Если приемник находится в режиме поиска преамбулы, определение ОСШ по формуле (4) может давать существенную ошибку из-за влияния частотных и временных сдвигов сигнала. Рассогласование по времени является причиной дополнительных искажений, вызванных межсимвольной интерференцией

(МСИ), а рассогласование по частоте – искажений, вызванных нарушением ортогональности между поднесущими, т.е. влиянием межканальной интерференции (МКИ). К сторонним искажениям можно также отнести внутрисполосные искажения, вызванные клиппированием сигнала по некоторому заданному уровню напряжения. Более точную оценку ОСШ можно получить после начальной временной и частотной синхронизации. Однако предварительная, пусть и менее точная, оценка ОСШ необходима для правильной работы блока синхронизации. Поэтому разрабатываемый алгоритм оценки ОСШ по преамбуле будет включать два этапа вычисления:

1. Предварительное оценивание ОСШ по преамбуле (присутствуют сторонние искажения в виде МСИ и МКИ, а также внутрисполосные искажения, вызванные клиппированием сигнала)

$$\rho_{SINAD}' = \frac{P_C + P_{III} + P_{II}}{P_{III} + P_{II}}$$

2. Окончательное оценивание ОСШ (присутствуют только внутрисполосные искажения, вызванные клиппированием сигнала)

$$\rho_{SINAD} = \frac{P_C + P_{III}}{P_{III}}$$

На рисунке 3 показана блок-схема работы оценки отношения сигнал/шум по многочастотной преамбуле.

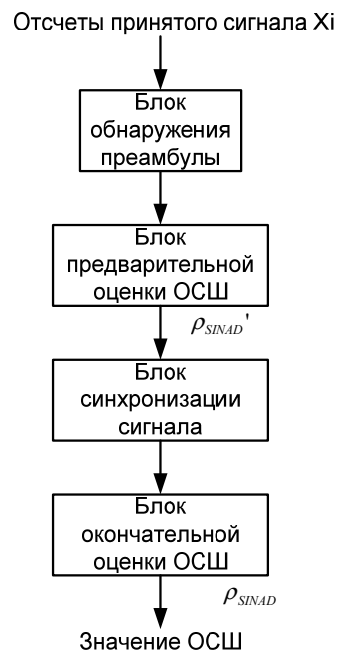


Рис. 3. Блок-схема оценки ОСШ

Оценка ОСШ в канале с АБГШ

Исследования проводились в программе MATLAB. Значения накладываемого ОСШ выбиралось из ряда от -4 дБ до +30 дБ: [-4 -2 0 2 4 6 8 10

15 20 25 30]. Преамбула содержит $K=6$ тонов, усреднение оценок ОСШ производится по $N=5$ символам.

В качестве дестабилизирующих факторов использовались следующие параметры:

1. Частотный сдвиг. Используется 3 варианта набора частотных сдвигов: ± 5 Гц, ± 15 Гц, ± 30 Гц, расстояние между поднесущими сигнала OFDM составляет 62,5 Гц, т.е. блок синхронизации компенсирует частотное рассогласование в пределах $\pm 31,25$ Гц. Значения текущего временного сдвига для каждого сигнала выбирались случайно для каждого SNR набора сдвигов с равномерным законом распределения.

2. Временной сдвиг. Сдвиг по времени выбирался случайным образом с равномерным законом распределения из диапазона от 0 до $T_{OFDM} = 20$ мс, шаг временного сдвига равен 0,125 мс.

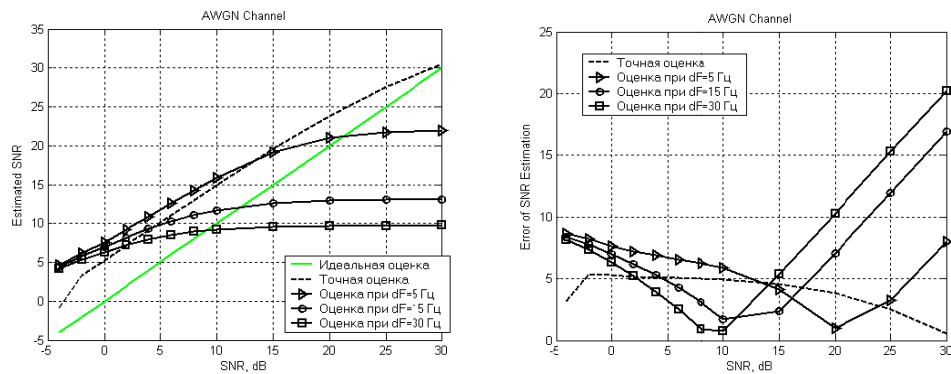


Рис.4. Оценка ОСШ и ошибка оценки в канале с АБГШ

Анализ графических зависимостей показывает, что предварительная оценка ОСШ сильно зависит от значения частотной расстройки df . Окончательная оценка ОСШ от величины частотной расстройки не зависит, что, во-первых, говорит о правильности работы блока синхронизации, а во-вторых, позволяет восстановить истинное значение ОСШ в канале связи. Так, на интервале ОСШ от -2 до 15 дБ погрешность оценки ОСШ практически постоянна и равна 5 дБ. При значении ОСШ свыше 15 дБ, погрешность оценки уменьшается.

Оценка ОСШ в многолучевом канале

В качестве модели многолучевого канала связи используется модель ITU-RF.1487 [4].

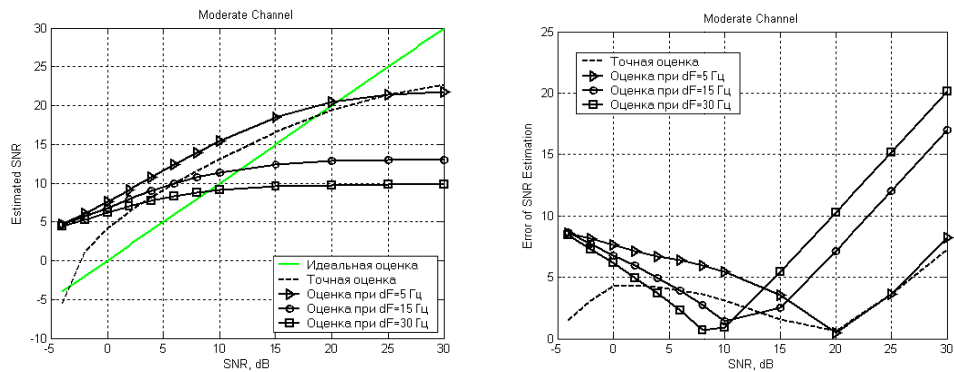


Рис. 5. Оценка ОСШ и ошибка оценки в двухлучевом канале (умеренные условия)

Анализ графических зависимостей показывает, что предварительная оценка ОСШ сильно зависит от значения частотной расстройки dF . Окончательная оценка ОСШ от величины частотной расстройки не зависит. На интервале ОСШ от 0 до 15 дБ погрешность оценки ОСШ варьируется в пределах 2-4 дБ.

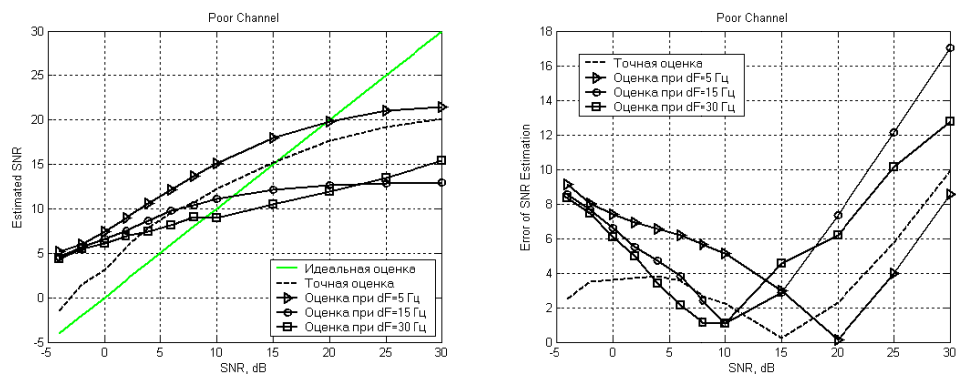


Рис.6. Оценка ОСШ и ошибка оценки в двухлучевом канале (возмущенные условия).

Анализ графических зависимостей показывает, что предварительная оценка ОСШ сильно зависит от значения частотной расстройки dF . Окончательная оценка ОСШ от величины частотной расстройки не зависит. На интервале ОСШ от 0 до 15 дБ погрешность оценки ОСШ варьируется в пределах 1-4 дБ.

Влияние частотного сдвига на точность оценки ОСШ

Как показывают исследования выше, наличие частотного рассогласования между переданными и принятым сигналом, вызванное нестабильностью опорных генераторов в передающей и приемной аппаратуре, а также эффектом Доплера, приводит к существенному ухудшению при предварительной оценке ОСШ. Это связано с «растеканием» спектра (см. рисунок 2). Для минимизации этого эффекта в работе предлагается использовать оконную обработку принимаемых символов [5]. Рассмотрим, как меняется оценка ОСШ в зависимости от частотного сдвига при истинном значении ОСШ в канале с АБГШ, равном 30 дБ.

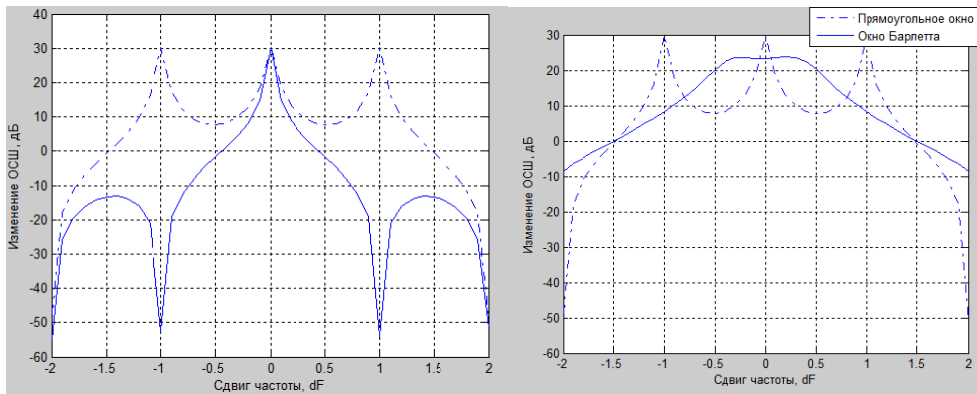


Рис.7. Зависимость изменения ОСШ от сдвига частоты dF при применении окна прямоугольного и окна Барлетта

На рисунке 7 слева показаны зависимости оценки ОСШ от сдвига частоты без оконной обработки символов. Сплошная линия соответствует случаю, когда энергия преамбульного тона вычисляется только на ее частоте, а штрихпунктирная линия – при вычислении энергии преамбульного тона по формуле 2. Ошибка оценки ОСШ достигает 30 и 20 дБ для первого и второго случая в пределах частотного сдвига $\pm 0,5 \cdot dF = \pm 31,25$ Гц.

На рисунке 7 справа показаны зависимости оценки ОСШ от сдвига частоты при оконной обработке с использованием оконной функции Барлетта. В этом случае ошибка оценки ОСШ не превышает 3 дБ. Таким образом, применение оконной обработки позволяет существенно снизить ошибку при оценке ОСШ.

Заключение

В работе был рассмотрен метод оценки ОСШ по многочастотной преамбуле, проведено имитационное моделирование работы для канала с АБГШ и многолучевого канала связи. Получены следующие результаты:

1. Если не применять оконную обработку, то предварительная оценка ОСШ существенно зависит от значения частотного сдвига во всех типах канала связи. Она не может быть использована для адекватной оценки ОСШ в канале связи.
2. При оконной обработке принимаемого сигнала погрешность оценки ОСШ даже на предварительном этапе составила не более 3 дБ, что говорит о её эффективности.
3. Окончательная оценка ОСШ, выполняемая после компенсации частотного сдвига в блоке синхронизации, не зависит от значения частотного сдвига. Это справедливо для всех исследуемых каналов связи.
4. В канале с АБГШ по оценке ОСШ можно достаточно точно определить истинное значение ОСШ в диапазоне от -2 до +15 дБ. Погрешность оценки ОСШ составляет 3 дБ.
5. В многолучевом канале связи (как в канале с умеренными условиями, так и в канале с возмущенной ионосферой) по оценке ОСШ можно достаточно точно определить истинное значение ОСШ в диапазоне от 0 до 15 дБ.

Погрешность оценки ОСШ для канала с умеренными условиями составляет 4 дБ, для канала с возмущенной ионосферой –5 дБ.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Загидуллин Ю.Т., Казанцев А.А., Хворенков, В.В. Исследование способов передачи информации сигналами OFDM в коротковолновом диапазоне//Инфокоммуникационные технологии: период. науч.-техн. и информ.-аналит. журн. ПГАТИ, том 5, №4, 2007г.- С.77-80.
2. Загидуллин Ю.Т., Мерзлякова М.С., Хворенков В.В., Копысов А.Н. Исследование качества обнаружения преамбульных символов в сигналах OFDM//Вестник ИжГТУ им. М.Т.Калашникова, период. науч.-теор. журн. ИжГТУ имени М.Т. Калашникова, 2012, № 2. Ижевск: изд-во ИжГТУ, 2012 г. – С. 118-121.
3. Загидуллин Ю.Т., Шичаев А.С. Исследование качества обнаружения сигналов OFDM в зависимости от структуры преамбулы // Доклады ТУСУР, период. науч.-теор. журн., 2012 №2(26), часть 2. Томск: изд-во ТУСУР, 2012 г. – С.42-45.
4. RECOMMENDATION ITU-R F.1487.TESTING OF HF MODEMS WITH BANDWIDTHS OF UP TO ABOUT 12 kHz USING IONOSPHERIC CHANNEL SIMULATORS.
5. Спектральный анализ ограниченных во времени сигналов. Эффект растекания спектра. [Электронный ресурс] URL: https://ru.dsplib.org/content/spectral_leakage/spectral_leakage.html#r0(дата обращения: 1.04.2021).

А. А. Зыкин

Филиал АО «СРЗ» КБ «Радиосвязь», Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

РАЗРАБОТКА ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ РАДИОЛИНИИ, ИСПОЛЬЗУЮЩЕЙ СИГНАЛЫ С ПСЕВДОСЛУЧАЙНОЙ ПЕРЕСТРОЙКОЙ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

В работе приведена имитационная модель радиолинии, использующая сигналы ЧМ-2 с ППРЧ. Имитационная модель разработана в графической среде имитационного моделирования SIMULINK, которая входит в программный пакет MATLAB. Модель позволяет имитировать приемо-передачу сигнала ЧМ-2 с ППРЧ при воздействии естественных (аддитивный белый гауссовский шум) и преднамеренных помех. С помощью имитационной модели проведено моделирование влияния помех на достоверность приема сигнала ЧМ-2 с ППРЧ при медленных и быстрых скачках. Проведено сравнение устойчивости сигналов ЧМ-2 и ЧМ-2 с ППРЧ к воздействию помех.

Ключевые слова: имитационная модель, SIMULINK, сигналы с ППРЧ, естественные и преднамеренные помехи.

A. A. Zykin

KB «Radiosvyaz», branch of JSC «SRZ», Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

DEVELOPMENT OF A SIMULATION MODEL OF A RADIO LINE USING SIGNALS WITH FREQUENCY HOPPING

The paper presents a simulation model of a radio link using the 2FSK signals with frequency hopping. The simulation model is developed in the graphical simulation environment SIMULINK included in the MATLAB software package. The model makes it possible to simulate the reception and transmission of the 2FSK signal with frequency hopping from exposure of natural noise (Additive White Gaussian Noise) and jams. Through the use of a simulation model, the noise influence on the reliability of receiving the 2FSK signal with frequency hopping was simulated at slow and fast jumps. Comparison of noise resistance of the 2FSK and 2FSK signals with frequency hopping was also made.

Keywords: simulation model, SIMULINK, signals with frequency hopping, natural noise, jamming signal.

Введение

Изобретение радио и дальнейшее его внедрение в вооруженные силы в начале XX века стимулировали разработку и внедрение способов и средств радиоразведки, и подавления сигналов радиопомехами. Впоследствии применения радиопомех потребовалось создание средств и методов радиоэлектронной защиты. Впервые применение радиоразведки и радиопомех было произведено в 1904 г. во время Русско-японской войны экипажами русских военных кораблей. В дальнейшем средства и комплексы радиоэлектронной борьбы (РЭБ) использовались во многих локальных конфликтах и войнах, например, в Корее, во Вьетнаме, на Ближнем Востоке [1].

В современной теории военного противоборства все большее значение придается внедрению новых систем управления, основанных на сетевых принципах, при этом основой такой системы управления является подсистема связи. В этой связи с одной стороны системы связи должны соответствовать жестким требованиям системы управления войсками и оружием, с другой стороны в условиях современного противоборства они сами подвергаются деструктивному воздействию со стороны противника. Основой современного деструктивного воздействия на системы радиосвязи (СРС) является применение средств радиоэлектронной борьбы (РЭБ) и радиоэлектронного подавления (РЭП). Методология оценки воздействия РЭП на СРС в настоящее время является достаточно развитой, что актуализирует направления исследований в области обеспечения помехозащиты СРС [2-3].

Проблема обеспечения надежной связи в условиях воздействия организованных и непреднамеренных помех, а также многостанционного доступа при работе в пакетных радиосетях наилучшим образом может быть решена при использовании в средствах радиосвязи (СРС) сигналов с расширением спектра [2-3].

Системы радиосвязи, в которых применяются сигналы с расширением спектра, обладают целым рядом достоинств:

- 1) повышенной помехоустойчивостью;
- 2) энергетической скрытностью;
- 3) возможность обеспечивать кодового разделения сигналов при многостанционном доступе;
- 4) способностью противостоять преднамеренным помехам;
- 5) повышенной пропускной способностью;
- 6) возможностью измерения времени прихода сигналов с большой точностью и высоким разрешением и др.

Методы расширения спектра в принципе могут базироваться на модуляции любого из параметров сигнала: амплитуды, фазы, частоты, временного положения (задержки) сигнала в соответствии со специальным кодом, формируемым на основе псевдослучайной последовательности. Основными, базовыми методами расширения спектра сигналов, широко применяемыми в современных СРС, системах управления, распределения информации, передачи команд, являются:

- 1) метод непосредственной модуляции несущей псевдослучайной последовательностью (ПСП);
- 2) метод псевдослучайной перестройки рабочей частоты (ППРЧ);
- 3) метод псевдодвременной импульсной модуляции (ПВИМ);
- 4) метод совместного (комбинированного) использования различных методов расширения спектра (например, метода непосредственной модуляции несущей ПСП и метода ППРЧ; метода ППРЧ и метода ПВИМ и другие сочетания методов).

В статье рассматривается одно из направлений обеспечения помехозащитности и скрытности СРС – использование режима ППРЧ [2]. В работе приведена разработанная имитационная модели радиолинии, использующие сигналы ЧМ-2 с ППРЧ при воздействии естественных (аддитивный белый гауссовский шум) и преднамеренных помех. Имитационная модель построена в графической среде имитационного моделирования SIMULINK, которая входит в программный пакет MATLAB [4-5]. С помощью имитационной модели проведено

моделирование влияния помех на достоверность приема сигнала ЧМ-2 с ППРЧ при медленных и быстрых скачках.

Описание имитационной модели радиолинии, использующей сигнал ЧМ-2

На рисунке 1 представлена блок-схема имитационной модели радиолинии, использующая сигнал ЧМ-2. С помощью модели можно оценить воздействие на передачу сигнала ЧМ-2 помех естественного и искусственного (преднамеренные помехи) происхождения.

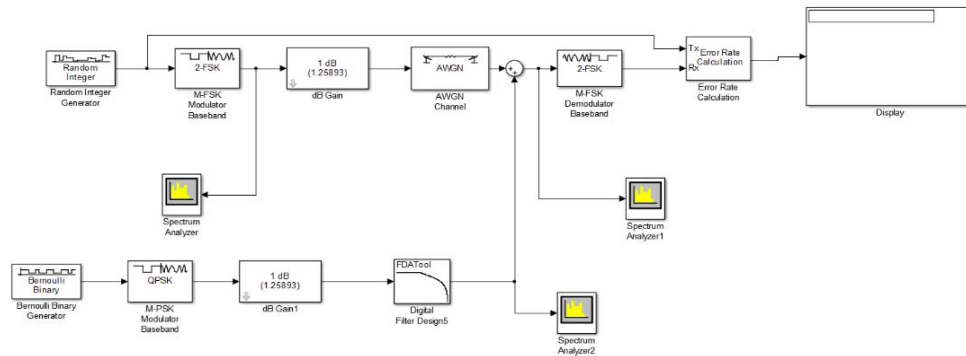


Рисунок 1. Блок-схема имитационной модели радиолинии, использующей сигнал ЧМ-2

С помощью блока RandomInteger Generator формируем случайное равномерное распределение целых чисел в диапазоне $[0, M-1]$, где M – M -ичное число, равное 2. Начальное значение последовательности (Intelseed) задаем 37. Период сигнала (Sampletime) задаем $1/4800$.

Далее сформированная последовательность поступает в блок M-FSK Modulator Baseband (частотный модулятор), с выхода которого сигнал ЧМ-2 поступает на вход блока dBGain. В данном блоке осуществляется усиление сигнала.

После усиления сигнал частотно-модулированный сигнал поступает на блок канал АБГШ (AWGN Channel), где он подвергается воздействию белого шума. Канал с АБГШ предназначен для создания мешающего воздействия в канале передачи информации. Он характеризуется равномерной спектральной плотностью, нормальным распределением значений амплитуды и аддитивным способом воздействия на сигнал.

Помимо естественных шумов в канале на сигнал воздействуют преднамеренные помехи, которые в имитационной модели реализованы с помощью блоков генератора случайного двоичного числа Бернулли (BernoulliBinary Generator), квадратурного фазового модулятора (M-PSK ModulatorBaseband), усилителя сигнала (dBGain1) и цифрового фильтра DigitalFilterDesign. С помощью данных блоков формируется помеха полосой 10 кГц.

После воздействия шумов и помех сигнал поступает на вход демодулятора ЧМ-2 (M-FSKDemodulatorBaseband). Демодулятор предназначен для выделения полезного информационного сигнала из модулированного.

Далее демодулированный сигнал поступает на вход блока, ErrorRateCalculation, на второй вход которого поступает сигнал с блока RandomIntegerGenerator. В блоке ErrorRateCalculation производится расчет количества ошибок. Значение ошибок выводятся на блок дисплей Display.

Описание имитационной модели радиолинии, использующей сигнал ЧМ-2 с ППРЧ

На рисунке 2 представлена блок-схема модели радиолинии, которая использует сигнал ЧМ-2 с ППРЧ.

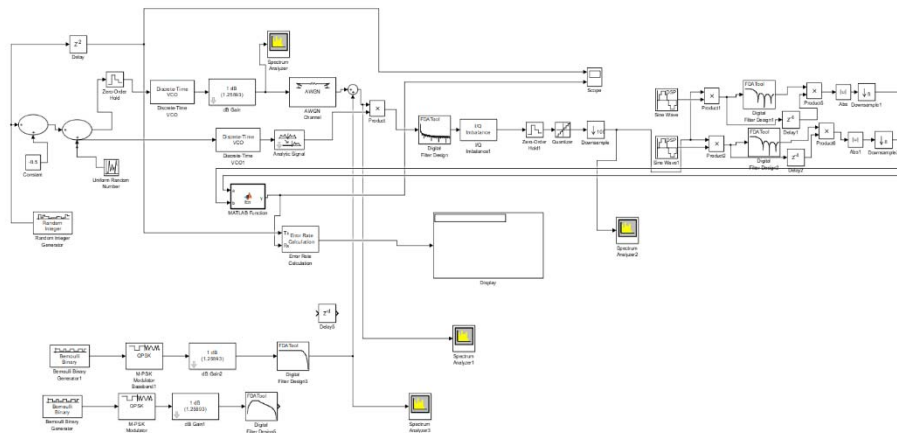


Рисунок 2. Блок-схема модели радиолинии, которая использует сигнал ЧМ-2 с ППРЧ и работает в условиях воздействия естественных и преднамеренных помех

Формирование сигнала ЧМ-2 с ППРЧ. Имитационная модель источника сигнала ЧМ-2 с ППРЧ представлена на рисунке 3.

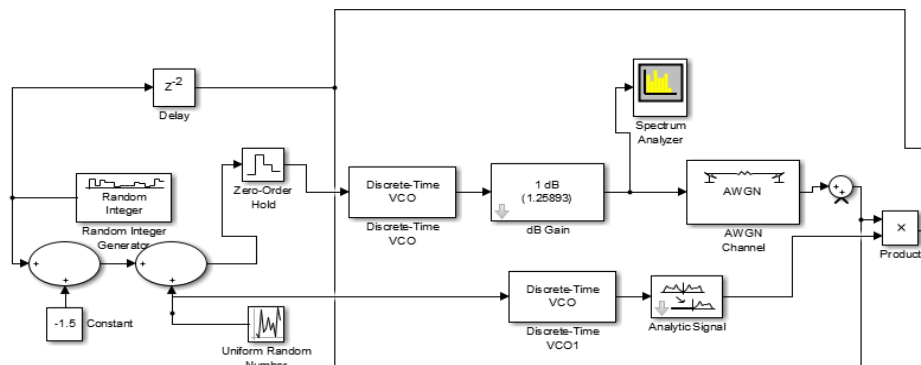


Рисунок 3. Имитационная модель источника сигнала ЧМ-2 с ППРЧ и канала связи

С помощью блока RandomInteger Generator формируем случайное равномерное распределение целых чисел в диапазоне $[0, M-1]$, где M – M -ичное число равно 2. Начальное значение последовательности (Intelseed) задаем 37. Период сигнала (Sampletime) задаем $1/4800$.

Далее сигнала поступает на блоки суммирования Sum, где сигнал суммируется с константой равной $-0,5$. Значение константы формируется с помощью блока Constant. Далее суммарный сигнал поступает на еще один блок суммирования, где складывается с сигналом формируемый блоком UniformRandomNumber. Блок UniformRandomNumber – формирует случайный сигнал с равномерным распределением.

Сформированный сигнал ЧМ-2 поступает на вход блока Zero-OrderHold. С помощью блока Zero-OrderHold осуществляем дискретизацию сигнала ЧМ-2. Частота дискретизации равна $38,4$ МГц.

С выхода блока Zero-OrderHold сигнал поступает на вход блока Discrete-Time VCO. Данный блок генерирует дискретный сигнал. При этом с изменением амплитуды входного сигнала будет изменяться частота сигнала. С выхода блока Discrete-Time VCO формируется сигнал ЧМ-2 с ППРЧ. Параметры блока Discrete-Time VCO представлены на рисунке 4.

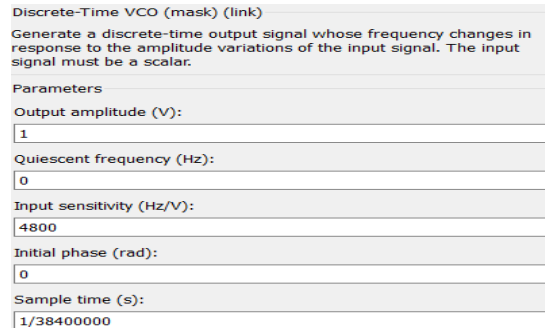


Рисунок 4. Параметры блока Discrete-Time VCO

Далее сформированный сигнал ЧМ-2 с ППРЧ поступает в блок Gain. Значение в блоке установлено 1 дБ, что равно 1,25893 Вт. На рисунке 5 представлен спектр сигнала ЧМ-2 с ППРЧ с выхода блока dBGain.

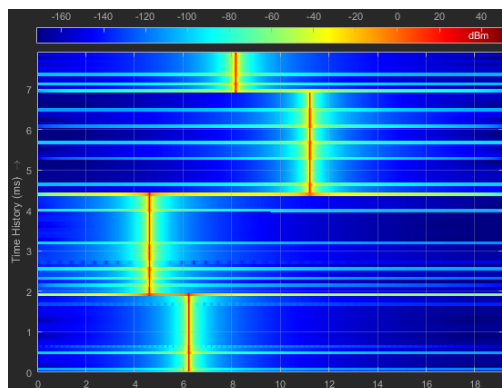


Рисунок 5. Спектр сигнала ЧМ-2 с ППРЧ с выхода блока dBGain

Сформированный сигнала ЧМ-2 с ППРЧ поступает на вход блока AWGN-Channel (добавляет белый Гауссовский шум к входному сигналу), где подвергается воздействию шума. Изменяя параметры блока AWGNChannel, можно регулировать отношение сигнал/шум.

Разработка постановщика помех

Помимо воздействия АБГШ на сигнал ЧМ-2 с ППРЧ, сигнал может оказаться под воздействием преднамеренных помех. В компьютерной имитационной модели радиолинии имитируется воздействие заградительных и прицельных помех. Имитационная модель постановщика помех представлена на рисунке 6.

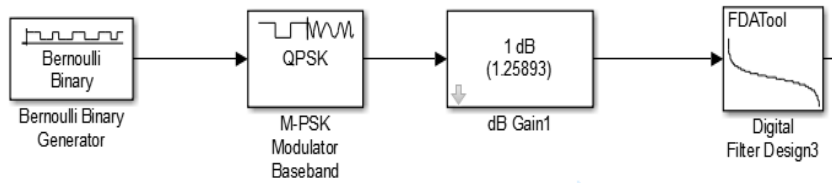


Рисунок 6. Имитационная модель постановщика помех

Постановщик помех реализован, так же, как и в модели радиолинии, которая использует сигнал ЧМ-2. С выхода фильтра помеха поступает на блок Sum, где суммируется с сигналом ЧМ-2 с ППРЧ.

Разработка имитационной модели выделения сигнала ЧМ-2

Имитационная модель выделения сигнала ЧМ-2 представлена на рисунке 7.

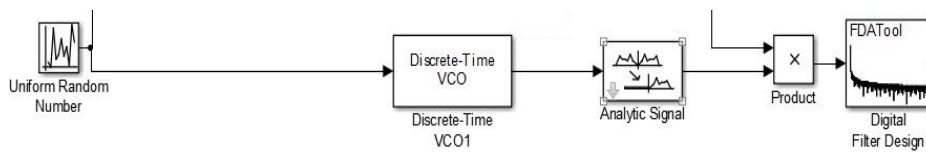


Рисунок 7. Имитационная модель выделения сигнала ЧМ-2

С помощью блока UniformRandomNumber формируется случайный сигнал с равномерным распределением. Параметры блока UniformRandomNumber представлены на рисунке 8.

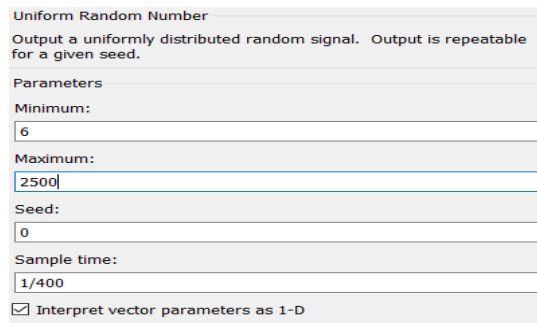


Рисунок 8. Параметры блока Uniform Random Number

Далее сформированный случайный сигнал поступает на вход блока Discrete-Time VCO1, с помощью которого на его выходе сформируется сигнал, у которого изменяется частота с изменением уровня сигнала. Параметры блока Discrete-Time VCO1 представлены на рисунке 9.

Discrete-Time VCO (mask) (link)

Generate a discrete-time output signal whose frequency changes in response to the amplitude variations of the input signal. The input signal must be a scalar.

Parameters

Output amplitude (V):
1

Quiescent frequency (Hz):
0

Input sensitivity (Hz/V):
4800

Initial phase (rad):
0

Sample time (s):
1/38400000

Рисунок 9. Параметры блока Discrete-Time VCO1

Сигнал с выхода блока Discrete-Time VCO1 поступает на вход блока AnalyticSignal. С помощью данного блока осуществляется перенос сигнала в заданную область частот.

Далее сигнал с выхода блока AnalyticSignal умножается с сигналом ЧМ-2 с ППРЧ (с выхода блока AWGN Channel) с помощью блока Product.

Сигнал с выхода блока умножения (Product) поступает на вход блока DigitalFilterDesign. С помощью данного блока создаем ФНЧ с окном Хэмминга. С его помощью выделяется сигнал ЧМ-2 из сигнала ЧМ-2 с ППРЧ. Параметры блока DigitalFilterDesign представлены на рисунке 10.

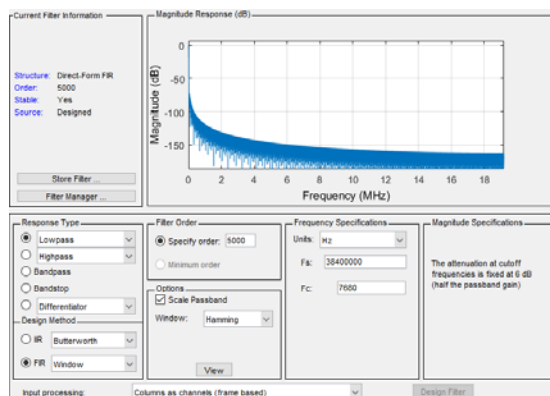


Рисунок10 – Параметры блока Digital Filter Design

Разработка цифрового демодулятора

Сигнал на входе демодулятора будет квантоваться 15-разрядным АЦП, т.е. Quantizationinterval блока Quantizer примем равным $1/215 = 1/32768$.

Имитационная модель цифрового демодулятора, построенного на основе квадратурного демодулятора, представлена на рисунке 11.

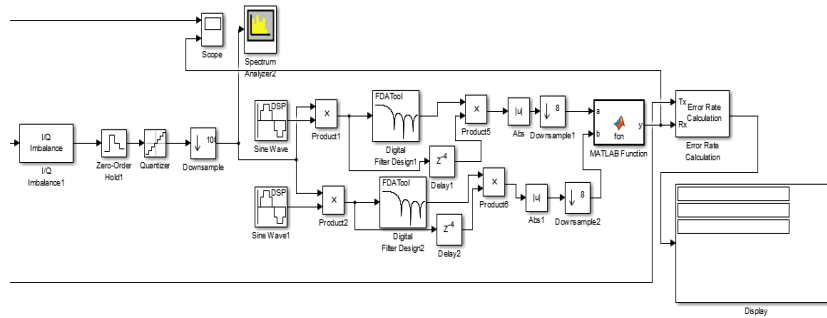


Рисунок 11. Имитационная модель цифрового демодулятора сигнала ЧМ-2

Далее сигнала с выхода блока Quantizer поступает на вход блока Downsample. В этом блоке осуществляется понижение частоты сигнала в 1000.

Далее сигналы с выходов блоков умножения поступают на входы фильтров DigitalFilter Design1 и DigitalFilter Design2.

Цифровой фильтр должен иметь необходимый наклон АЧХ в рабочей полосе частот. Для нашего примера максимальная частота (частота среза фильтра), поступающая на демодулятор, и, соответственно, на фильтр, равна 5760 Гц. Порядок фильтра равен 8. На рисунке 12 представлена схема, учитывающая задержку сигнала после прохождения через фильтр. Блок Delay вносит задержку на четыре отчета.

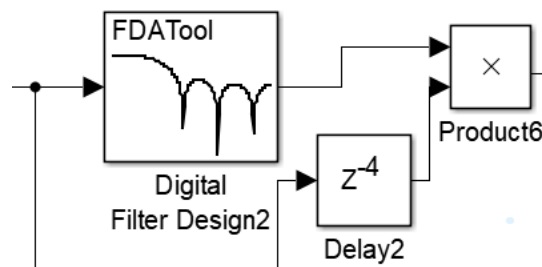


Рисунок 12. Схема, учитывающая задержку сигнала после прохождения через фильтр

Затем сигнал поступает на блок Abs. Данный блок вычисляет модуль принимаемого сигнала. С выхода блока Abs сигнал поступает на блоки понижения частоты сигнала в восемь раз (Downsample1 – Downsample2).

После понижения частоты сигнала в восемь раз сигнал поступает на решающее устройство, представленное с помощью блока MATLAB Function. В этом блоке прописывается код для сравнения сигналов, поступающих на вход.

На рисунке 13 приведен блок MATLAB Function и код, используемый для сравнения сигналов между собой.

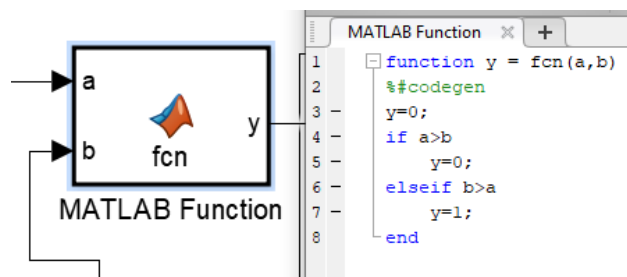


Рисунок 13. Блок MATLAB Function и пример кода

Затем сигнал поступает на блок ErrorRateCalculation, в котором производится расчёт ошибок, выводятся на дисплей Display.

Анализ влияния естественных помех сигналов ЧМ-2 и ЧМ-2 с ППРЧ

С помощью разработанных модели провели моделирование влияния естественных помех (аддитивного белого гауссовского шума) на помехоустойчивость сигналов ЧМ-2 и ЧМ-2 с ППРЧ.

Полученные вероятности ошибок на бит от отношения сигнал/шум приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты моделирования влияния аддитивного белого гауссовского шума на помехоустойчивость сигналов ЧМ-2 и ЧМ-2 с ППРЧ

q , дБ	0	1	2	3
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2	$3,038 \cdot 10^{-1}$	$2,567 \cdot 10^{-1}$	$2,254 \cdot 10^{-1}$	$1,836 \cdot 10^{-1}$
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ	$3,074 \cdot 10^{-1}$	$2,637 \cdot 10^{-1}$	$2,228 \cdot 10^{-1}$	$1,818 \cdot 10^{-1}$
q , дБ	4	5	6	7
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2	$1,462 \cdot 10^{-1}$	$1,074 \cdot 10^{-1}$	$6,858 \cdot 10^{-2}$	$4,121 \cdot 10^{-2}$
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ	$1,436 \cdot 10^{-1}$	$1,049 \cdot 10^{-1}$	$6,731 \cdot 10^{-2}$	$4,094 \cdot 10^{-2}$
q , дБ	8	9	10	
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2	$2,061 \cdot 10^{-2}$	$9,375 \cdot 10^{-3}$	$3,312 \cdot 10^{-3}$	
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ	$2,081 \cdot 10^{-2}$	$9,022 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$	

На рисунке 14 изображен график зависимости вероятности ошибки на бит от ОСШ для радиолинии ЧМ-2 и радиолинии ЧМ-2 с ППРЧ при воздействии АБГШ.

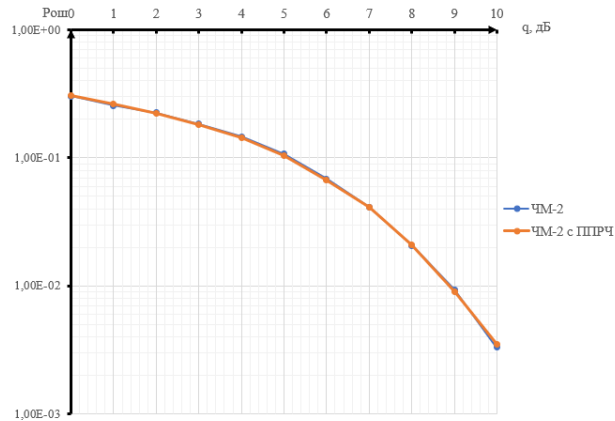


Рисунок 14. График зависимости вероятности ошибки на бит от ОСШ для сигналов ЧМ-2 и ЧМ-2 с ППРЧ при воздействии АБГШ

Как видно из рисунка 14 радиолинии, использующие ЧМ-2 и ЧМ-2 с ППРЧ, обладают практически одинаковой помехоустойчивостью. Следовательно, помехоустойчивость приема простого сигнала (при базе сигнала равной $B \approx 1$) при прочих равных условиях всегда одинакова.

Анализ помехоустойчивости сигнала ЧМ-2 с ППРЧ в условиях действия преднамеренных помех

Проведем моделирование канала связи, который использует ЧМ-2 сигнал. Установим отношение сигнал/шум, равное 10 дБ, для уменьшения влияния АБГШ. Сформируем фазомодулированную прицельную помеху полосой 10 кГц.

При воздействии фазомодулированной помехи (QPSK) полосой 10 кГц на радиолинию, использующую сигналы с двоичной частотной модуляцией, и при ОСП, равным 0 дБ, вероятность битовой ошибки составляет $2,976 \cdot 10^{-1}$. Это говорит о том, что система связи, использующая сигналы с двоичной частотной модуляцией, полностью подавлена воздействием этой помехи.

Для сравнения, произвели компьютерное моделирование радиолинии, которая использует сигнал ЧМ-2 с ППРЧ, под действием той же помехи и того же ОСШ. Результаты моделирования представлены в таблице 2.

Таблица 2. Результаты моделирования влияния фазомодулированной помехи полосой 10 кГц на помехоустойчивость сигналов ЧМ-2 с ППРЧ

q , дБ	0	-2	-4	-6
$P_{ош}$ ЧМ-2 с ППРЧ	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$
q , дБ	-8	-10	-12	-14
$P_{ош}$ ЧМ-2 с ППРЧ	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$
q , дБ	-16	-18	-20	
$P_{ош}$ ЧМ-2 с ППРЧ	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$4,164 \cdot 10^{-4}$	$4,164 \cdot 10^{-4}$	

Из результатов видно, что даже при самом низком значении отношения сигнал помеха ($q = -20$), вероятность ошибки на бит очень мала, составляет всего лишь $4,164 \cdot 10^{-3}$. Это означает, что фазомодулированная помеха с шириной полосы 10 кГц, которая полностью подавила радиолинию с ЧМ-2, для радиолинии, использующей сигнал ЧМ-2 с ППРЧ, является узкополосной и очень слабо влияет на помехоустойчивость радиолинии.

Анализ помехоустойчивости сигналов ЧМ-2 с ППРЧ в условиях действия преднамеренных помех

Проведем компьютерное моделирование работы радиолинии ЧМ-2 с ППРЧ при медленных и быстрых скачках в условиях действия преднамеренной помехи. Помеха поражает 30 % рабочей полосы сигнала, полосу помехи настраиваем с помощью блока DigitalFilterDesign. Вычислим вероятности ошибок на бит относительно ОСП. ОСП будем изменять путем увеличения мощности помехи при фиксированном значении мощности сигнала ЧМ-2 с ППРЧ. Мощность помехи регулируем с помощью блока dbGain. Найденные значения вероятности ошибки на бит, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Вероятность ошибки радиолинии, использующей сигнал ЧМ-2 с ППРЧ с 400 ск/с и 4800 ск/с, в условиях действия преднамеренных помех

q , дБ	0	-2	-4	-6
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ 400 ск/с	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$4,858 \cdot 10^{-3}$	$5,552 \cdot 10^{-3}$
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ 4800 ск/с	$2,082 \cdot 10^{-3}$	$2,082 \cdot 10^{-3}$	$2,082 \cdot 10^{-3}$	$2,082 \cdot 10^{-3}$
q , дБ	-8	-10	-12	-14
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ 400 ск/с	$6,939 \cdot 10^{-3}$	$8,328 \cdot 10^{-3}$	$1,804 \cdot 10^{-2}$	$4,927 \cdot 10^{-2}$
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ 4800 ск/с	$2,776 \cdot 10^{-3}$	$3,469 \cdot 10^{-3}$	$1,179 \cdot 10^{-2}$	$4,025 \cdot 10^{-2}$
q , дБ	-16	-18	-20	
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ 400 ск/с	$9,299 \cdot 10^{-2}$	$1,332 \cdot 10^{-1}$	$1,527 \cdot 10^{-1}$	
$P_{\text{ош}}$ ЧМ-2 с ППРЧ 4800 ск/с	$8,813 \cdot 10^{-2}$	$1,318 \cdot 10^{-1}$	$1,672 \cdot 10^{-1}$	

На рисунке 15 изображен график зависимости вероятности ошибки на бит от ОСП для радиолинии ЧМ-2 с ППРЧ при медленных и быстрых скачках в условиях действия преднамеренной помехи.

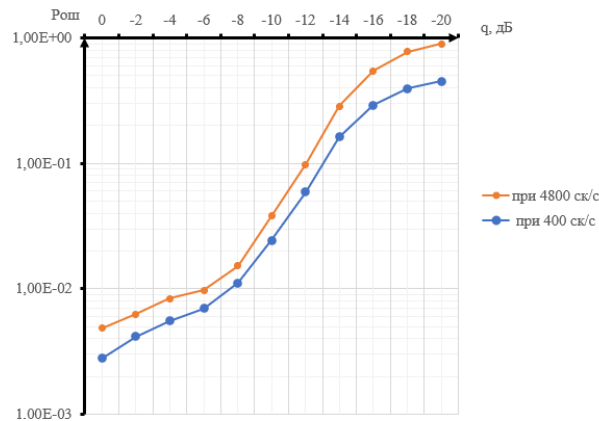


Рисунок 15. График зависимости вероятности ошибки на бит от ОСП для сигнала ЧМ-2 с ППРЧ при медленных и быстрых скачках в условиях действия преднамеренной помехи

Из рисунка 15 видно, что при действии преднамеренной помехи на радиолинию, использующей сигнал ЧМ-2 с ППРЧ с быстрыми скачками, значение вероятности ошибки ниже, чем для радиолинии с таким же сигналом, но медленными скачками. Например, вероятность ошибки при ОСП равном минус 10 дБ, при быстрых скачках равна $P_{об} = 3,469 \cdot 10^{-3}$, а при медленных почти в два с половиной раза больше $P_{об} = 8,328 \cdot 10^{-3}$. Однако при низких ОСП разница практически незаметна.

Заключение

В работе приведена имитационная модель радиолинии, использующая сигналы ЧМ-2 с ППРЧ. Имитационная модель разработана в графической среде имитационного моделирования SIMULINK, которая входит в программный пакет MATLAB. Модель позволяет имитировать прием-передачу сигнала ЧМ-2 с ППРЧ при воздействии естественных (аддитивный белый гауссовский шум) и преднамеренных помех. В результате моделирования воздействия естественного шума (АБГШ) на сигналы ЧМ-2 и ЧМ-2 с ППРЧ, обладают практически одинаковой помехоустойчивостью. Преднамеренная помеха полосой 10 кГц оказывает пагубное воздействие на процесс передачи сигнала ЧМ-2, но оказывает минимальное влияние на процесс передачи сигнала ЧМ-2 с ППРЧ. Также с помощью разработанной модели радиолинии ЧМ-2 с ППРЧ проведено моделирование влияния преднамеренной помехи, которая занимает 30 % полосы передаваемого сигнала при медленных и быстрых скачках. В результате при действии преднамеренной помехи на радиолинию, использующей сигнал ЧМ-2 с ППРЧ с быстрыми скачками, значение вероятности ошибки ниже, чем для радиолинии с таким же сигналом, но медленными скачками. Например, вероятность ошибки при ОСП равном минус 10 дБ, при быстрых скачках равна $P_{об} = 3,469 \cdot 10^{-3}$, а при медленных почти в два с половиной раза больше $P_{об} = 8,328 \cdot 10^{-3}$. Однако при низких ОСП разница практически незаметна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Радиоэлектронная борьба. Основы теории / А. И. Куприянов, Л. Н. Шустов. – М.: Вузовская книга, 2011. – 800 с.: ил.

2. Макаренко С.И., Иванов М.С., Попов С.А. Помехозащищенность систем связи с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты. Монография – СПб.: Свое издательство, 2013. – 166с.: ил.

3. Борисов В.И., Зинчук В.М., Лимарев А.Е. Помехозащищенность систем радиосвязи с расширением спектра сигналов методом псевдослучайной перестройки рабочей частоты // под ред. В.И. Борисова; изд. 2-е, перераб. и доп. – М.: РадиоСофт, 2008. – 512 с.

4. Бояршинов М. А., Зыкин А. А. Методика моделирования радиолинии, использующей сигналы ППРЧ в условиях воздействия преднамеренных помех // Сб. материалов XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Приборостроение в XXI веке – 2017. Интеграция науки, образования и производства»: Ижевск :Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018.С. 525–532.

5. Бояршинов М. А., Зыкин А. А. Помехоустойчивость сигналов фм-2 с ппрч в условиях воздействия преднамеренных помех // Сб. материалов XIII Междунар. науч.-техн. конф. «Приборостроение в XXI веке – 2017. Интеграция науки, образования и производства»: Ижевск : Изд-во ИжГТУ имени М. Т. Калашникова, 2018.С. 533–539.

А. В. Шелухо,

А. С. Колотов

Филиал АО «СРЗ» КБ «Радиосвязь», Ижевск, Удмуртская Республика,
Российская Федерация

КОНТРОЛЬ КАЧЕСТВА ПАЯНЫХ СОЕДИНЕНИЙ НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ

Вопрос контроля качества паяных соединений элементов печатных плат радиоаппаратуры и других цифровых устройств играет важную роль в процессе их монтажа и регулировки в условиях серийного и мелкосерийного производства. Тенденции к уменьшению габаритов электронных компонентов и широкое применение корпусов типа BGA, CSP накладывает повышенные требования к качеству монтажа, сложности контроля и регулировки таких изделий. Применение рентгеновских установок позволяет проводить исследования внутренних структур полупроводников на самом высоком уровне и обнаруживать различные дефекты монтажа, не разрушая паяное соединение.

Ключевые слова: электронные компоненты, рентгеновский контроль, корпус BGA, корпус CSP, контроль качества, Altera.

A. V. Shelukho,

A. S. Kolotov

КБ «Radiosvyaz», branch of JSC «SRZ», Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

THE CONTROL OF THE QUALITY SOLDERING CONNECTIONS BY NON-DESTRUCTIVE METHODS

The quality control of the PSB soldering connections of radio equipment and other digital devices plays an important role in the process their installation and adjustment in conditions of serial and small-scale production. The tendency to reduce size of electronic components and the widespread use of BGA cases, CSP imposes increased requirements for installation quality, complexity of control and adjustment of such products. Use of X-ray installation allows to carry out studies of the internal structures of semiconductors at the highest level and detect installation defects without destroying the soldered joint.

Keywords: electronic components, X-ray control, BGA, CSP, quality control, Altera.

Введение

В связи с широким применением микросхем с корпусами типа BGA, CSP, повышаются требования к процессу и к контролю монтажа. Неразрушающий контроль качества паяных соединений с использованием рентгеновского излучения позволяет произвести оценку монтажа, оставляя объект проверки целым и невредимым. Этот метод чрезвычайно актуален вследствие того, что инспекция подобного рода соединений другими методами (визуальными и прочими) крайне затруднена, и не в последнюю очередь ориентирован на повы-

шение качества выпускаемой продукции.

В статье приводится обзор опыта использования рентгеновской установки 2D типа для контроля и оценки паяных соединений на примере микросхемы ПЛИС 5CSEBA6U2317N фирмы Altera.

Методы неразрушающего контроля паяных соединений

Для оценки качества паяных соединений электронных узлов и компонентов были разработаны многочисленные методы неразрушающего контроля (НК). НК – это эффективный инструмент, который можно использовать для решения ряда производственных проблем и задач. В этом разделе будут представлены и описаны некоторые из наиболее распространенных методов НК, которые в настоящее время используются в электронной промышленности. К наиболее типичным дефектам паяных соединений радиоэлектронной аппаратуры (РЭА) относятся: непропай, поры, раковины, флюсовые включения, трещины, межвыводные перемычки и прочие дефекты структуры паяного соединения.

НК подразделяют на семь основных видов: оптический, контроль проникающими веществами, вихретоковый, электрический, тепловой, акустический, радиационный. Каждый вид НК имеет свои особенности и способен решать ограниченный круг задач. Методы НК представлены в таблице 1 [1,2].

Таблица 1. Методы неразрушающего контроля

Вид контроля	Особенности метода	Область применения
Оптический	Для обнаружения мелких дефектов величиной менее 0,1 мм используют оптические приборы с увеличением до 30х.	Соединения, имеющие доступные для осмотра поверхности.
Контроль проникающими веществами	Достоверность метода зависит от шероховатости контролируемой поверхности паяного соединения.	Соединения, имеющие поверхности, доступные для нанесения пенетрантов и осмотра.
Вихретоковый	Параметр шероховатости поверхности контролируемых соединений ≤ 40 мкм. Одновременно с поверхностными дефектами выявляют дефекты, расположенные на глубине до 2 мм от поверхности.	Соединения, имеющие поверхности, доступные для преобразователей дефектоскопов.
Электрический	Оценку качества производят по величине электрического сопротивления или электропроводности контролируемого участка. Вид и характер дефекта не определяются.	Соединения, имеющие доступ для измерительных наконечников.
Тепловой	Выявляют дефекты типа непропаев. Необходимо создание теплового потока в направлении, перпендикулярном поверхности соединения.	Соединения, у которых толщина слоя, обращенного к приемнику излучения, не превышает 3 мм.

Таблица 1. Продолжение

Акустический	Выявляют дефекты типа непропаев. Определяют условные размеры дефекта, эквивалентную площадь, конфигурацию и число дефектов. Метод не гарантирует выявление одиночных пор, шлаковых и инородных включений диаметром $\leq 1-2$ мм. Вид дефекта не определяется. Не выявляются дефекты, расположенные по глубине в мертвой зоне дефектоскопа, и расположенные от отражающей поверхности на расстоянии меньше, чем разрешающая способность дефектоскопа.	Не ограничена, за исключением соединений, не имеющих доступа для ввода и приема ультразвуковых колебаний и соединений, обладающих повышенным затуханием ультразвуковых колебаний или имеющих толщину меньше, чем мертвая зона дефектоскопа.
Радиационный.	Необходима биологическая защита от ионизирующего излучения в соответствии с нормами радиационной безопасности и санитарными правилами.	Соединения, не доступные для технического осмотра при их изготовлении, сборке, ремонте и эксплуатации.

При серийном и мелкосерийном производстве РЭА используют в основном оптический и электрический методы НК. Тенденции к уменьшению габаритов электронных компонентов, широкое применение корпусов типа BGA, CSP создают потребность в более прогрессивных методах НК, среди которых - радиационный и акустический.

Контроль монтажа микросхем в BGA корпусе на примере микросхемы ПЛИС 5CSEBA6U2317N фирмы Altera

При проверке мелкой серии изделий с установленной микросхемой ПЛИС 5CSEBA6U2317N возникла необходимость поиска неисправности на печатной плате.

Как было установлено позже, дефект заключался в коротком замыкании цепей питания микросхемы, который был обнаружен путем электрического контроля монтажа на этапе регулировки.

В процессе поиска неисправности было установлено, что причина короткого замыкания (КЗ) на печатных платах находится под корпусом или в самой микросхеме ПЛИС. После замены чипа ПЛИС на новый, на некоторых платах дефект по-прежнему оставался. Для проверки этих печатных плат было решено использовать рентгеновский контроль пайки.

Рентгеновское оборудование основано на высокой проникаемости рентгеновских лучей, световая трубка излучает рентгеновские лучи под высоким давлением, которые могут эффективно проникать в проверяемые объекты и проверять качество паяных соединений.

Основные дефекты, влияющие на функциональность печатного узла после пайки и требующие обнаружения, это - наличие перемычек (замыкания), отсутствие галтели, сдвиг, непропай.

Замыкания, отсутствие галтели и сдвиг можно определить при просмотре контролируемого объекта на мониторе оператором, при перпендикулярном излучении к объекту.

Для определения непропая требуется направить рентгеновские лучи под углом к объекту. При этом могут быть определены пустоты непосредственно в паяном соединении, а по форме припоя можно определить недостаточную смачиваемость соединяемых поверхностей в большинстве случаев на стороне печатной платы.

Обнаружение непропая методом экспозиции под углом является преимущественным, по сравнению с другими методами рентгентехнической инспекции. Этот метод эффективнее в плане точности определения дефектов и экономичнее по затратам времени. При исследовании паяных соединений, выполненных с меньшим шагом выводов, таких, как BGA, FBGA с использованием рентгеновского излучения, направленного под углом к объекту, из-за наклона объекта инспекции неизбежно возникает большое расстояние между исследуемым объектом и источником рентгеновского излучения. Что, в свою очередь, не позволяет достичь достаточно высокого разрешения изображения. Это препятствие может быть преодолено только путем применения специального технического оснащения рентгеновской системы, которое позволяет достичь высокого геометрического увеличения при излучении под углом к объекту инспекции (OVHM — Oblique View at Highest Magnification) [3].

Также важным параметром является качество смачиваемости соединяемых поверхностей. Соответствующий этому параметру контрольный критерий зависит от того, определяется ли зона смачиваемости контактной площадки самой металлической поверхностью контактной площадки или же нанесением защитной маски. В первом случае, при условии хорошей смачиваемости контактных поверхностей на рентгеновском изображении, становятся хорошо различимы темные кольцеобразные окружности по краям контактных площадок, градация цвета которых определяется толщиной припоя. Во втором случае, характерным является то, что паяное соединение отображается в виде темных налегающих друг на друга окружностей. В этом случае излучение рентгеновских лучей под углом к исследуемому объекту при высоком разрешении (OVHM) дает возможность провести точный анализ смачиваемости соединяемых поверхностей. Важной составляющей оценки степени надежности соединения является анализ паяных соединений на наличие пустот. Пустоты отображаются на рентгеновских изображениях в виде ярких пятен или ярких линий. Визуально мы можем судить о том, является ли область дефектной, по тому, насколько она ярче, чем окружающая фоновая область на изображении.

На рисунке 1 показан участок печатной платы с микросхемой ПЛИС без дефектов пайки под вертикальными рентгеновскими лучами.

На рисунке 2 представлена фотография участка изделия платы с распаянным чипом ПЛИС при рентгеновском излучении, направленном под углом к поверхности платы.

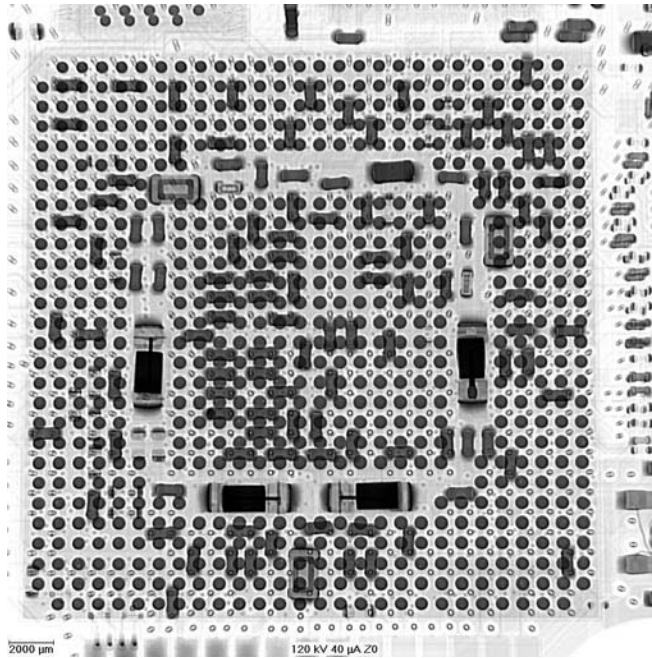


Рисунок 1. Пример рентгеновского изображения при вертикальном излучении

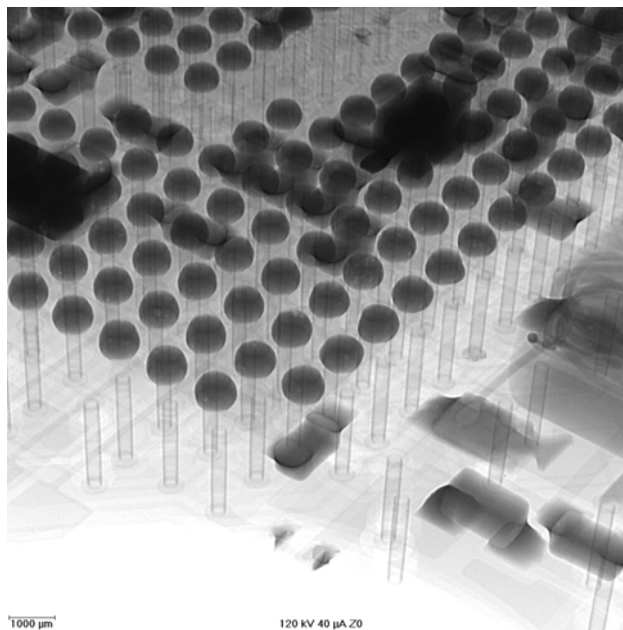


Рисунок 2. Пример рентгеновского изображения под углом

На рисунках 3 и 4 представлены фотографии с дефектами пайки. На 3 рисунке можно наблюдать светлые участки в местах пайки, которые являются пустотами. Наиболее вероятной причиной появления пустот являются паяльная паста и сам компонент. При размере пустоты более 25% от общего объема шарика припоя, паяное соединение считается дефектным.

Если между паяным соединениями есть серая «перемычка», которая объединяет несколько ножек МС, то можно судить об этом как о КЗ. На рисунке 4 видны участки, в которых произошло КЗ выводов микросхемы.

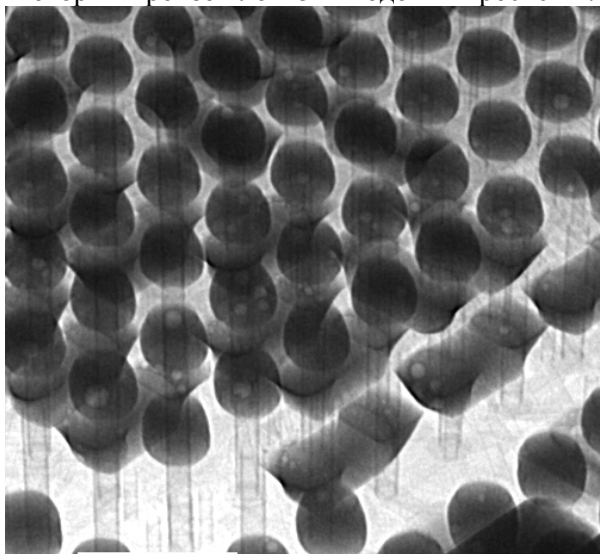


Рисунок 3. Пример пустот в припое

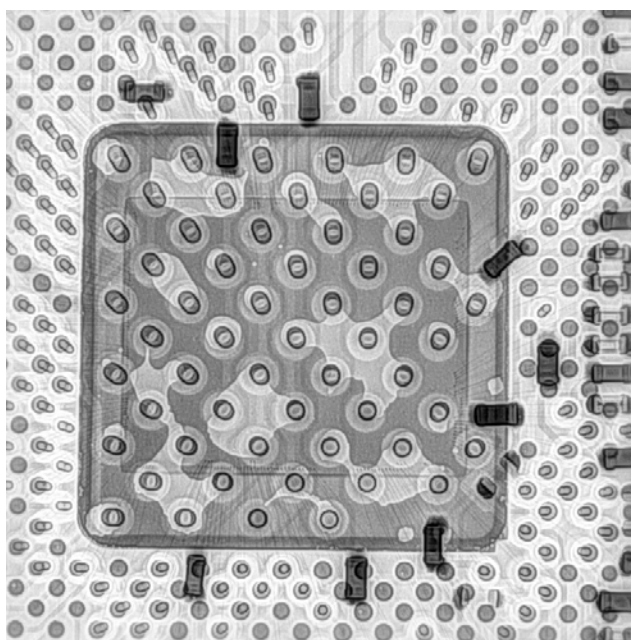


Рисунок 4. Пример короткого замыкания под корпусом микросхемы

Заключение

Применение рентгеновского контроля позволяет произвести точный анализ качества паяных соединений с малым шагом выводов и обнаружить неудовлетворительное смачивание соединяемых поверхностей, полости в местах пайки и другие дефекты монтажа микросхем до регулировки изделия. Своевременное

обнаружение дефектов сокращает время регулировки изделия, позволяет откорректировать технический процесс монтажа микросхем, что повышает качество изделия в целом и обеспечивает снижение стоимости изделия за счет снижения трудоемкости регулировщика.

При серийном производстве изделий для ускорения процесса контроля качества монтажа имеет смысл применять автоматические системы рентгеновского контроля.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 24715-81. Соединения паяные. Методы контроля качества.
2. ГОСТ 20426-82. Контроль неразрушающий. Методы дефектоскопии радиационные. Область применения.
3. Моисеенко А. Автоматическая оптическая инспекция – системы Se-300 ultra и Flex ultra. Печатный монтаж, 2008. – № 4. – С. 4–8.
4. Калиниченко Н.П., Викторова М.О., Атлас дефектов паяных соединений: учебное пособие. Издательство: ТПУ, 2012. – 83с.

А. Ю. Шаимов

Филиал АО «СРЗ» КБ «Радиосвязь», Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРОТОКОЛА УСТАНОВЛЕНИЯ СЕАНСА СВЯЗИ НА MAC УРОВНЕ

В статье представлено описание алгоритма установления связи на канальном уровне, показаны соответствующие блок-схемы, приведены: структура программы, формат передаваемых сообщений, типы сообщений и реализация временных таймеров.

Ключевые слова: сетевой протокол, MAC уровень, алгоритм передачи данных, алгоритм доступа к среде, программная модель.

A. Yu. Shaimov

KB «Radiosvyaz», branch of JSC «SRZ», Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

IMPLEMENTATION OF THE SESSION ESTABLISHMENT PROTOCOL AT THE MAC LEVEL

The article describes the algorithm for establishing communication at the channel level and shows the corresponding flowcharts. Program structure, format of transmitted messages, message types, and the implementation of timers are also illustrated.

Keywords: network protocol, MAC layer, data transfer algorithm, environment access algorithm, software model

Введение

В современном мире постоянно происходит передача огромных потоков информации, её хранение и последующая обработка. За последнее время сети связи значительно усложнились, также повысились предъявляемые к ним требования. Чтобы не возникало затруднений и последующих затрат, желательно детально продумывать организацию сети на начальных этапах, а «сложную» поставленную задачу следует разделять на более «простые». В данной статье приведена одна из таких «простых» задач, а именно реализация протокола обмена на канальном уровне.

Основная задача, решаемая на MAC уровне, – это обеспечение процесса обмена между абонентами при ограниченном количестве каналов связи. Отметим особенности, которые будут учитываться при реализации:

1. Возможность организовывать разные каналы для предоставления разных услуг в рамках одной системы;
2. Использование реактивного протокола, отсутствует периодическая отправка служебной информации. Время активной работы уменьшается, расход энергии батареи радиостанции снижается;
3. Устойчивость системы при смене и выборе канала. Реализован алгоритм быстрого перебора и запоминания уже проверенных каналов;

4. Наличие режима прямого вызова (соединение происходит без участия базовой станции);
 5. Приоритетность вызовов (сначала обслуживаются специальные запросы);
 6. Поддержка групповых вызовов;
 7. Уменьшение требуемого количества каналов связи;
 8. Сетевая нагрузка распределяется динамически;
 9. Перераспределение свободных каналов между абонентами;
 10. Высокая готовность и защищенность к отказам;
 11. Возможность контроля ошибок во время проведения переговоров.
- Протокол (алгоритм) установления связи функционально можно поделить на два алгоритма: алгоритм передачи данных и алгоритм доступа к среде.

Общая организация внутригрупповой связи

Для связи внутри группы абонентов предусмотрено несколько каналов с различным функциональным назначением. Для речевой связи по принципу «каждый с каждым», а также для широковещательных рассылок коротких сообщений предусмотрен радиоканал ППРЧ (является основным каналом, ППРЧ – псевдослучайная перестройка рабочей частоты). Обмен в данном радиоканале не квитируемый. Речь передается в реальном масштабе времени, к коротким сообщениям данное требование не предъявляется.

Для адресной передачи речи, видео или пакетных файловых данных сети могут создавать прямые соединения между друг другом, используя один из каналов следующих типов (каналы для адресного обмена):

- ППРЧ для адресного речевого вызова;
- OFDM (мультиплексирование с ортогональным частотным разделением каналов) для передачи потокового видео;
- многочастотный сигнал для пакетной передачи файловых данных с подтверждением доставки.

Каналы для адресного обмена назначаются непосредственно перед передачей данных и освобождаются при завершении передачи. Для их назначения и освобождения используется отдельный радиоканал ППРЧ, аналогичный основному каналу по своим характеристикам, но сдвинутый от него по частоте. При дальнейших упоминаниях в тексте данный радиоканал именуется каналом управления. В отсутствие передачи в эфир все радиостанции сети постоянно ведут параллельный прием по основному каналу и по каналу управления. При адресном обмене к приему по двум каналам добавляется параллельный прием по соответствующему каналу.

Алгоритм передачи данных

При передаче блока данных на канальном уровне выполняется последовательность действий, зависящая от типа передаваемых данных, а также их конечного адресата (рис. 1). В первую очередь определяется, предназначен блок данных для широковещательной передачи или для адресной. В первом случае, блок данных сразу же адресуется широковещательным адресом канального уровня и отправляется на физический уровень сетевой иерархии для последующей отправки по основному каналу. Во втором случае, адрес назначения устанавливается как текущий. Это позволяет отсеивать принимаемые пакеты данных, если они приходят

от абонента, отличного от того, с которым в настоящее время производится обмен адресными данными.

Далее алгоритм проверяет наличие зарезервированного канала для адресного обмена, а также соответствует ли его тип (в случае наличия канала) услуге, которую необходимо предоставить, то есть передаче речи, видео или пакетных файлов. Во время использования конкретного радиоканала для адресного обмена алгоритм считает данный канал зарезервированным, то есть используемым только парой устройств в сети. В соответствии с этим положением предполагается, что остальные радиостанции сети не используют данный канал в это время. Системой ведется

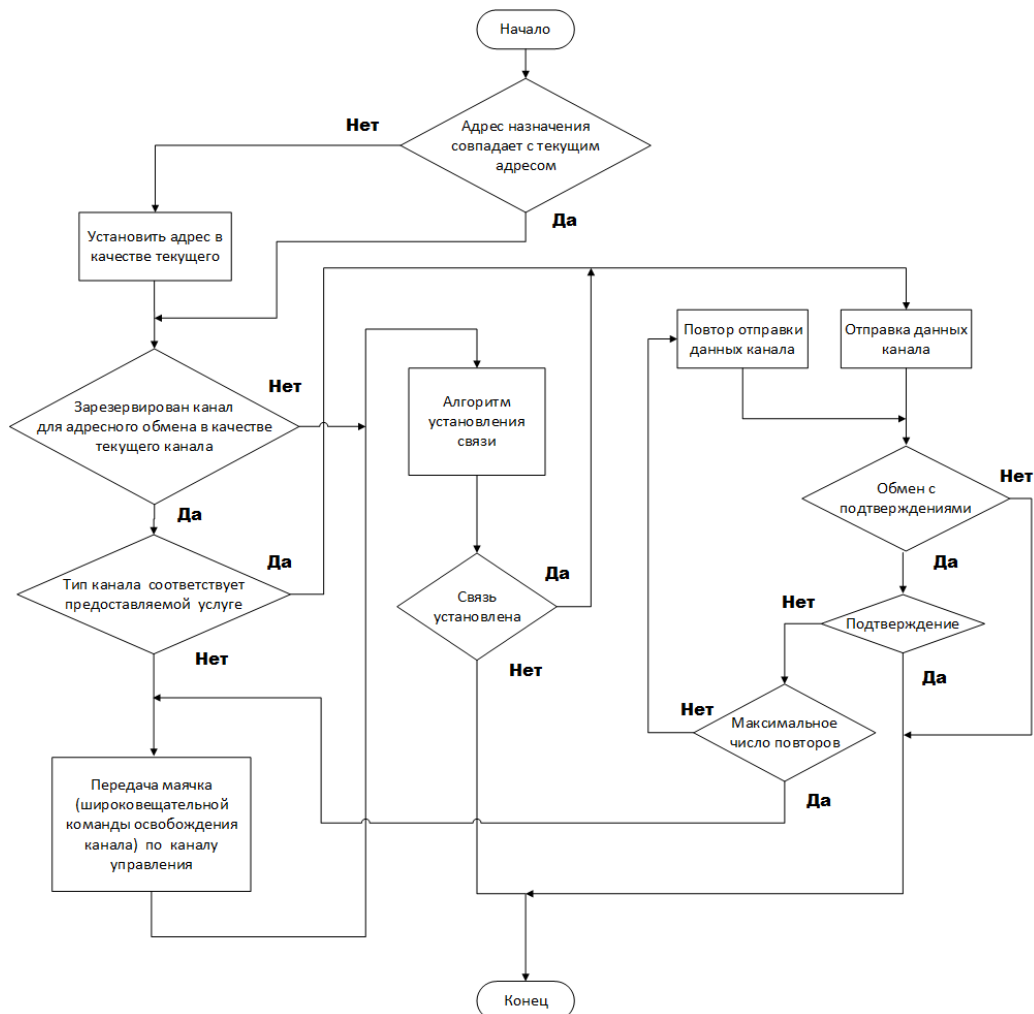


Рисунок 1. Блок-схема алгоритма передачи данных

Отсчет времени, прошедшего с последнего использования канала для адресной передачи. При истечении определенного временного интервала, зарезервированный текущий канал сбрасывается, то есть алгоритмом считается, что канал уже могли занять другие устройства сети, и его нельзя использовать.

В случае если текущий канал соответствует предоставляемой услуге, алгоритм сразу же переходит к передаче блока данных. При отсутствии текущего канала для адресного обмена или несоответствии его типа предоставляемой услуге алгоритм переходит к стадии установления связи, подробно описанной в следующем подразделе. Перед этим канал для адресного обмена, несоответствующий услуге, освобождается. По каналу управления подается ширококвещательная не квитуемая команда, сообщающая, что канал свободен.

Отправка данных производится стандартным для протоколов канального уровня образом. При передаче потоковых данных, то есть речи или видео, квитанции на принятые кадры адресатом не используются. Поэтому протокол канального уровня вырождается в отправку передаваемого пакета ниже на канальный шифратор, после которого он попадает на физический уровень, где происходит реальное преобразование массива данных в сигнально-кодовые конструкции и последующая отправка в радиоэфир.

При передаче пакетных данных алгоритм принимающего устройства посылает отправителю квитанции. При совпадении расчетной CRC (CRC–циклический избыточный код) пакета с CRC, которая указана в нем, отправителю посылается положительная квитанция (то есть подтверждение приема данных). При несовпадении CRC отправителю посылается отрицательная квитанция. Хотя в большинстве систем принято использовать только один тип квитанций, а под другим типом понимать отсутствие таковой, в разрабатываемой системе данное решение призвано уменьшить временные издержки за счет уменьшения использования таймаутов ожидания отрицательных квитанций.

При получении подтверждения (положительной квитанции) на переданный блок данных алгоритм переходит к отправке следующего блока данных, если он есть, или завершает работу в противном случае. Если на переданный блок данных получена отрицательная квитанция или не получено вообще никакой, алгоритм повторяет передачу блока данных, и так до трех раз. В случае если выполнено максимальное число повторов отправки блока данных, а блок так и не был передан адресату без ошибок, на вышестоящие уровни сетевой модели сообщается, что связь адресатом на канальном уровне потеряна. Канал для адресного обмена освобождается. По каналу управления подается ширококвещательная не квитуемая команда, сообщающая, что канал свободен.

Алгоритм установления связи (доступа к среде)

Алгоритм установления связи на канальном уровне сетевой модели именуется иначе протоколом доступа к среде передачи (рис. 2).

Суть протокола, разработанного в настоящей научно-исследовательской работе, состоит в следующем. Тип канала для адресной передачи данных, как уже было сказано выше, выбирается в соответствии с наименованием услуги, которая оказывается абоненту сети. Индекс канала, указывающий на определенный частотный канал из массива подобных ему каналов заданного типа, выбирается случайным образом из списка всех возможных значений. При этом индексы недавно занятых каналов не участвуют в выборке. Таким образом, сетью регулируется распределение занятия тех или иных каналов по времени. После того, как некоторый канал для адресной передачи выбран, алгоритм установления связи переводит приемопередатчик в прием по этому каналу.

Следующим шагом алгоритма является отправка запроса на установление связи на заданном канале адресного обмена требуемого типа по каналу управления. Получив этот запрос, адресат переводит свой приемопередатчик в прием по этому каналу и прослушивает его в течение определенного времени, чтобы определить осуществляется ли работа на данном канале в настоящий момент другими устройствами сети. После этого адресат посылает отправителю ответ на полученный запрос, используя для этого либо канал управления, если целевой канал адресного обмена занят, либо собственно сам целевой канал, ведь отправитель уже находится в приеме по данному каналу.

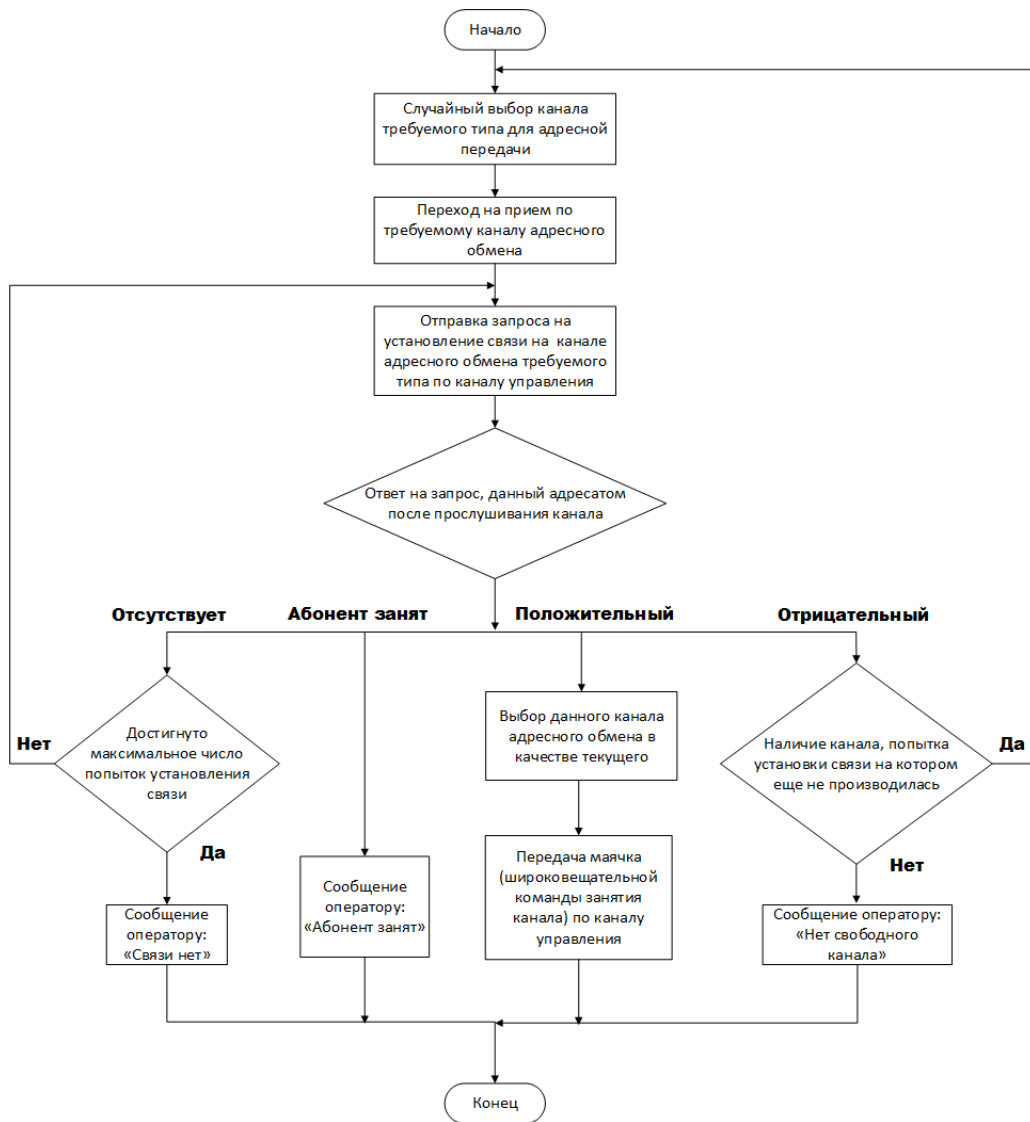


Рисунок 2. Блок-схема алгоритма установления связи

Получив ответ на свой запрос, данный адресатом после прослушивания целевого канала, отправитель выполняет одну из четырех ветвей алгоритма в зависимости от результата запроса:

1. При положительном ответе данный канал адресного обмена выбирается в качестве текущего, а по каналу управления инициируется передача широковещательной команды занятия этого канала.

2. При отрицательном ответе, означающем, что искомый канал занят, выбирается другой канал данного типа, и все предыдущие шаги повторяются заново, этот алгоритм повторяется до тех пор, пока либо не будет обнаружен незанятый канал, либо будут перебраны все возможные каналы этого типа, в последнем случае оператору будет выдано сообщение «Нет свободного канала».

3. Возможен ответ «Абонент занят». Это означает, что в настоящий момент адресатом выполняется адресный обмен с третьим устройством, и он не может принять вызов. В этом случае оператору будет выдано сообщение «Абонент занят».

4. Последним возможным вариантом является полное отсутствие ответа, как по целевому каналу, так и по каналу управления, при этом с истечением таймаута ожидания на получение ответа посылка запроса повторяется (целевой канал остается прежним) заново. Этот алгоритм повторяется до тех пор, пока не будет достигнуто максимальное число повторов запроса на установление связи, после чего оператору будет выдано сообщение «Нет связи».

После получения одного из описанных результатов алгоритм установления связи возвращает управление основному алгоритму доступа к среде передачи.

Программная модель алгоритма

Язык программирования

Язык программирования, на котором написана программа - язык высокого уровня C/C++. В программе используется особенность C++: механизм инкапсуляции - независимость, жесткое разнесение функционала разных частей программы (правки в одном месте не потянут нежелательную цепочку изменений в других местах, ошибочный блок можно целиком заменить). При усложнении или изменении алгоритма обмена, переписать текст программы не составляет труда.

Среда разработки программы Eclipse

Eclipse – это открытая платформонезависимая среда программирования для разработки программного обеспечения. Помимо свободного распространения, также достоинством является способность расширять среду своими блоками и модулями.

Структура программы

По разработанному алгоритму была выполнена программная реализация.

Программу можно разделить на следующие блоки:

- функция инициализации начальных параметров и состояния системы;
- функция диспетчера;
- функция перебора и записи каналов для связи;
- функция корректировки параметров обмена;
- тестовая программа.

В качестве иллюстрации подхода к написанию программы будет представлена функция работы диспетчера.

Диспетчер

Структура диспетчера состоит из следующих функциональных частей: разборщика сообщений (функция, анализирующая входящее сообщение), автомата состояний, конструктора выходного сообщения (функция, формирующая выходное сообщение).

Список программных переменных, входящих в диспетчер:

*inBuf— входное сообщение (команда);

*pStDisp — указатель на структуру диспетчера;

*OutLength — указатель на длину выходного сообщения (команды);

*SelfMessage — указатель на сообщение-ожидание;

*isBusy — флаг занятости текущего абонента (диспетчера);

*inCmd — указатель на флаг-идентификатор направления входного сообщения (команды);

*outCmd —указатель на флаг-идентификатор направления выходного сообщения (команды).

Виды флагов-идентификаторов представлены в таблице 1.

Таблица 1. Флаги-идентификаторы

Флаг-идентификатор	Типы	Направление	Назначение
App_Data Dsp_Data	Data	по верхнему уровню (приложение) и по нижнему уровню (радиоинтерфейс)	отправка данных
Dsp_Cnt	Req Answ Beac Ack	по нижнему уровню (радиоинтерфейс)	отправка команд запроса, ответа и маячка(широковещательной команды) и ответной квитанции
App_Ind		по верхнему уровню (приложение)	отправка сообщения оператору о доступности кала и абонента
Dsp_GoCh		по нижнему уровню (радиоинтерфейс)	отправка команды установки/перестройки канала связи

Направления передачи флага команды или сообщения приведены на рисунке 3.

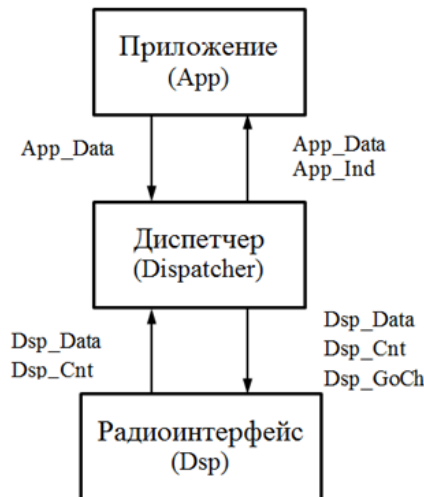


Рисунок 3. Направления передачи флага команды или сообщения

Типы сообщений. Формат команд

В алгоритме реализовано пять типов сообщений:

- 1) data (данные);
- 2) ack (квитанция);
- 3) req (запрос);
- 4) answ (ответ);
- 5) beak (маячок).

Формат команд и их размер полей представлен в таблице 2.

Таблица 2– Формат сообщения

Название поля	ID	src	dest	length	frameNumber	data
Размер поля, бит	4	8	8	16	16	-

Данный формат сообщения анализирует или собирает функции разборщика и сборщика сообщения.

Автомат состояний (StateMachine)

Так как алгоритм является нелинейной последовательностью действий, то удобно его представить и реализовать в виде конечного автомата состояний. Внутренние состояния автомата зависят от входных данных и предыдущего состояния диспетчера, значит, реализован так называемый автомат Мили.

Устойчивые состояния:

- IDLE = 0, // Состояние ожидания
- SEND_DATA, // Отправка сообщения нижнего уровня
- SEND_ACK, // Отправка квитанции
- SEND_REQ, // Отправка запроса
- SEND_ANSW, // Отправка ответа
- WAIT_DATA, // Ожидание данных
- WAIT_ACK, // Ожидание квитанции
- WAIT_ANSW, // Ожидание ответа
- SEND_APP_DATA // Отправка сообщения в приложение.

На рисунке 4 представлен граф конечного автомата.

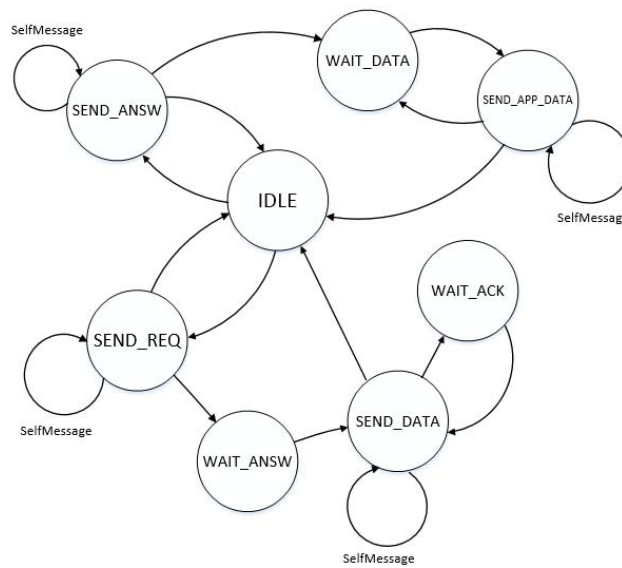


Рисунок 4. Граф переходов состояний диспетчера

Переходы в то или иное состояние представлены в таблице 3.

Таблица 3. Состояния диспетчера

state/ID	DATA	REQ	ANSW	ACK	SelfMes
IDLE	SEND_REQ	LISTEN_CHNL	-	-	-
SEND_DATA	WAIT_ACK/ SEND_DATA	SEND_DATA	-	-	IDLE
SEND_ACK	-	-	-	WAIT_DATA/ IDLE	IDLE
SEND_REQ	-	WAIT_ANSW	-	-	IDLE
SEND_ANSW	-	-	WAIT_DATA	-	IDLE
WAIT_DATA	SEND_ACK	WAIT_DATA/ IDLE	-	-	-
WAIT_ACK	-	-	-	SEND_DATA	-
WAIT_ANSW	-	-	SEND_DATA/ IDLE	-	-
SEND_APP_DATA	-	SEND_APP_DATA	-	-	-

Отправка сообщения-индикатора оператору происходит параллельно с основными типами сообщений не является отдельным состоянием и отправляется.

SelfMessage

В реализации алгоритма предусмотрен особенный тип сообщений SelfMessage. Это сообщение-таймер, цель которого организовать временной интервал ожидания нужной команды. В программном исполнении SelfMessage является прокидываемым «во вне» указателем на структуру.

Структура:

```
typedef struct
{
    uint8_t flag_selfMes;
    uint8_t cmd_ID;
    uint8_t rpt;
    uint8_t timeout;
    uint8_t stateDispatcher;
} SelfMessage;
```

flag_selfMes — флаг, показывающий о наличие или отсутствии, необходим чтобы не создавалось большое количество таймеров. Также показывает какой вид сообщения таймера пришло (таймер установления передачи или таймер ожидания команды).

cmd_ID — поле структуры, хранящее ожидаемый тип входящей в диспетчер команды

rpt — переменная-декремент, определяет оставшиеся количество попыток ожидания нужной команды. По истечению, диспетчер переходит в состояние ожидания/бездействия.

timeout — время обслуживания текущей команды, которое сообщение-таймер находится во вне диспетчера.

stateDispatcher — состояние диспетчера на момент создания SelfMessage

Типовой пример реализации действий совместно с запуском таймера в пределах одного состояния

Если мы в состоянии N

Если блокирующий флаг НЕ выставлен

Выставить этот флаг

Запустить таймер

Если блокирующий флаг выставлен

Если истек запущенный таймером таймаут

Какие-то действия

Сбросить блокирующий флаг

Переход в состояние M

Если выполнилось какое-то другое условие, которое требуется проверить до срабатывания таймаута

Сбросить таймер

Какие-то другие действия

Сбросить блокирующий флаг

Переход в состояние K

Структура SelfMessage представлена на рисунке 3.3.

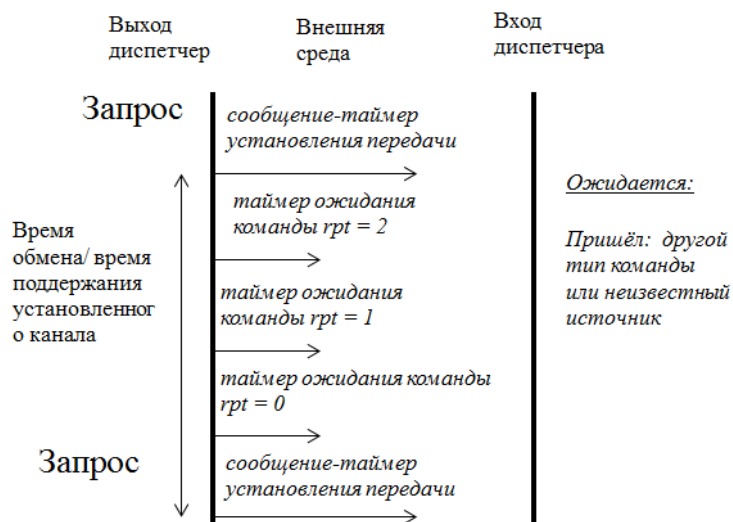


Рисунок 5. Структура передачи сообщения - таймера

Следует отметить, что существует три типа сообщения-таймера:

1) Таймер установления передачи: выставляется с момента подачи запроса, установления соединения по каналу связи и до момента окончания обмена между абонентами или по истечению таймера.

2) Таймер ожидания команды: выставляется с момента отправки команды (или данных) до момента прихода ответной команды (например, ответа или квитанции) или по истечению таймера.

3) Интервал прослушивания канала: запускается при получении запроса и заканчивается в двух случаях: когда таймер истекает (канал свободен), либо пока не закончится приход команды от стороннего устройства (таймер сбрасывается, канал занят).

Заключение

В данной статье рассмотрена часть прикладной задачи проектирования сети связи, а именно реализация протокола установления связи на канальном уровне. Основная решаемая задача алгоритма – осуществление связи при ограниченном количестве каналов обмена. Полученная в ходе работы программа является расширяемой и масштабируемой, а это значит, что при усложнении протокола обмена имеется возможность безболезненной доработки текста программы. К сожалению, в статье нет некоторых важных описаний функций (например, функции выбора канала, контроля ошибок, смены скорости передачи и т.д.), что они из себя представляют, можно изложить в будущих публикациях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Самуйлов К.Е., Учебно-методическое пособие по курсу «Сети и системы телекоммуникаций».– М.: РУДН, 2002.— 285 с.
2. Гейер Д. Беспроводные сети. Первый шаг: Пер. с англ. — М.: Издательский дом «Вильяме», 2005. — 192 с.
3. Блэк Ю. Сети ЭВМ. Протоколы, стандарты, интерфейсы. – М.: Мир, 1990. — 351 с.
4. Ахо Альфред В. Структуры данных и алгоритмы: Вильямс / пер. с английского и ред. Минько А. А., Ахо Альфред В., Хопкрофт Джон Э., Ульман Джеффри Д. — М. и др.: Вильямс, 2001. – 382 с.
5. Хворенков В.В., Батурин И.С., Савельев А.В. Автоматизированное рабочее место главного конструктора радиоэлектронных средств на основе теории многоагентных систем. Вестник ИжГТУ, том 20, №4, 2017 – С.77-81.

В. В. Жуков

АО «Сарапульский радиозавод», г. Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

ПОСТРОЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Автоматизированные измерительные системы находят всё более широкое применение в различных отраслях народного хозяйства. Для построения их на современном этапе используются четыре базовых стандарта: VXI, PXI, LXI и AXIe. В представленной работе рассмотрены основные принципы построения автоматизированных измерительных систем в рамках указанных стандартов.

Ключевые слова: автоматизированные измерительные системы, средства измерения, специальное программное обеспечение.

V. V. Zhukov

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

BUILDING OF MODERN AUTOMATED MEASUREMENT SYSTEMS

Automated measuring systems are increasingly used in various sectors of the national economy. To build them at the present stage, four basic standards are used: VXI, PXI, LXI and AXIe. In the present paper, the basic principles of building automated measurement systems within the framework of these standards are considered.

Keywords: Automated measuring systems, measuring instruments, special software.

Введение

Автоматизированная измерительная система (АИС) – это система, состоящая из одного или более средства измерения (СИ), имеющих функцию дистанционного управления по соответствующему интерфейсу и управляющей ЭВМ, снабженной специальным программным обеспечением (СПО), позволяющем управлять СИ и считывать с него показания.

АИС позволяет производить измерение параметров объекта контроля (ОК) в автоматизированном либо автоматическом режиме.

Первые АИС появились более 50 лет назад, чему способствовало появление модульного стандарта САМАС и интерфейса GPIB (IEEE-488).

Относительно бурное развитие АИС началось около 30 лет назад за рубежом и около 20 лет назад в России.

В данной работе будут рассмотрены АИС, предназначенные, прежде всего, для измерения электрических параметров.

Области применения АИС

АИС находят применение в различных областях науки, техники и производства.

АИС применяются:

- при проведении научных экспериментов;

- в производственном процессе - при измерении параметров продукции и контроле параметров технологических процессов;
- в эксплуатации – для измерения параметров изделий при проведении технического обслуживания;
- в процессе разработки новых изделий.

Цели и задачи, решаемые при создании АИС

К целям создания АИС могут быть отнесены:

- снижение трудоёмкости процесса измерения (повышение производительности труда, как важнейшего показателя эффективности производства);
- достижение технических характеристик измерительной системы, реализация которых другими средствами невозможна;
- общее повышение качества продукции и (или) производимых работ без превышения макроэкономических показателей проекта;
- улучшение условий и безопасности труда.

Указанные цели достигаются в общем случае решением следующих задач:

1. Введение элементов автоматизации в процесс измерения для уменьшения времени, требуемого на проведение контроля параметров.
2. Повышение прецизионности измерений [4], путем применения в СПО статистических методов для уменьшения случайной составляющей погрешности измерения.
3. Исключение человеческого фактора, как источника грубых погрешностей (промахов).
4. Измерение параметров процессов, фиксация которых оператором в ручном режиме затруднительна. Например, быстротекающих редких процессов.
5. Реализацией постоянного (непрерывного) контроля параметров ОК. Например, в технологических процессах.
6. Проведение диагностики неисправностей ОК по результатам автоматизированного контроля.
7. Проведение контроля параметров ОК, пребывание в непосредственной близости с которым сопряжено с риском для здоровья и жизни оператора.
8. Оперативное получение протокола измерения на любом этапе контроля в удобной для оператора форме в автоматизированном режиме.
9. Возможность относительно легкого создания и пополнения баз данных результатов измерений ОК. Например, для обеспечения сопровождения изделий в течении всего жизненного цикла или в целях статистического анализа параметров.

История вопроса

Хронологически развитие СИ, ставших основой для создания АИС, происходило следующим образом (таблица 1).

Таблица 1

№	Наименование стандарта	Год создания	Разработчик	Примечание
1.	САМАК (EUR 4100)	1972 г.	Европейский комитет по стандартам в ядерной электронике (ESONE)	Отечественный аналог - КАМАК
2.	IEEE-488 (GPIB)	1975 г. принят в качестве стандарта	Hewlett-Packard	1965г. – разработка. Отечественный аналог - КОП
3.	VXI	1992 г.	Консорциум VXI	
4.	PXI	1997 г.	National Instruments	
5.	PXIe	2006 г.	National Instrument	
6.	LXI	2005 г.	Консорциум LXI	
7.	AXIe-1	2010 г.	Консорциум AXIe	
8.	AXIe-0	2014 г.	Консорциум AXIe	

В данном обзоре отдельно не рассматриваются такие применяемые для управления СИ интерфейсы, как RS-232, RS-485, USB, так как на сегодняшний день они занимают нишу скорее вспомогательных, нежели основных интерфейсов АИС.

САМАК (EUR 4100) – разработан для применения в атомной промышленности. Изначально в разработку САМАК был заложен принцип модульной системы открытой архитектуры. Можно рассматривать САМАК как прелюдию модульных стандартов VXI, PXI, AXIe. Имеется отечественный стандарт ГОСТ 26.201.1-94. В настоящее время устарел.

IEEE-488 (GPIB) - разработан для применения в СИ традиционной архитектуры. Используется по настоящее время. В новых разработках практически не применяется.

VXI – разработан с применением принципа модульной системы открытой архитектуры. Базируется на магистрали VXI. Применяется по сей день, но уступает место более новым системам на базе стандартов PXIe и AXIe. Имеется отечественный стандарт ГОСТ Р 51884-2002.

PXI – разработан с применением принципа модульной системы открытой архитектуры. Базируется на магистрали PCI.

PXIe – разработан как дальнейшее развитие стандарта PXI. Базируется на магистрали PCIe.

LXI - разработан как эффективная замена интерфейса IEEE-488 (GPIB). Базируется на интерфейсе LAN.

AXIe-1 - разработан с применением принципа модульной системы открытой архитектуры. Базируется на магистралях PCIe и LAN, а также имеет оптический интерфейс ODI. Имеется отечественный стандарт ГОСТ Р 58286-2018.

AXIe-0 - разработан как упрощенный вариант AXIe-1. Базируется только на магистрали LAN.

Обзор современных стандартов

Стандарт VXI (рис.1) стартовал в 1992 году (версия 1.4), неоднократно улучшался вплоть до версии VXI 4.0 в 2010 году. Все приборы разных производителей в версии VXI-C (модуль размерами 233x340x30 мм с обязательным экранированием и требованиями по электромагнитной совместимости) совместимы в рамках одной системы.

Основные приложения - это тестовые системы с большим количеством модульных коммутаторов. Всего существует более 1300 типов VXI приборов.

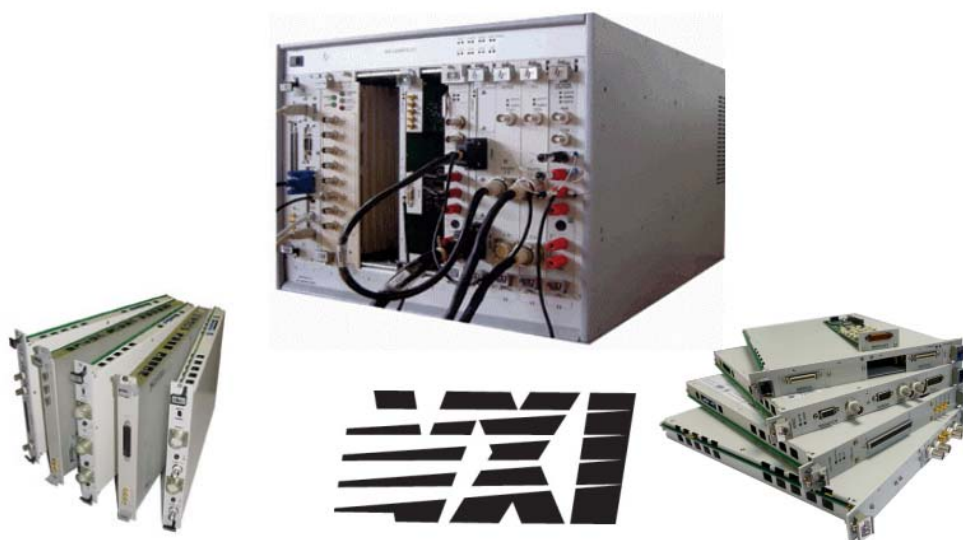


Рис.1. Стандарт VXI

Стандарт PXI стартовал в 1997 году и быстро получил признание потребителей, во многом из-за очень грамотной и правильной политики фирмы National Instruments - создателя этого стандарта. Основной размер модуля 3U (100x160x20 мм) и очень редко 6U (233x160x20 мм). Экранирование в стандарте не предусмотрено, хотя некоторые фирмы его применяют.

В 2006 году PXI появился стандарт PXIe. С предшественником его связывали только общие принципы построения, так как была заменена основная параллельная магистраль PCI на последовательную PCIe. Это смелое решение фактически позволило ценой несовместимости магистрали открыть новую главу в стандарте PXI и обеспечить последующее доминирование данного стандарта для высокоскоростных тестовых систем различного назначения. В настоящее время стандарт PXIe занимает доминирующее положение на рынке малоканальных высокоскоростных модульных приборов. Пик расцвета стандарта PXI пришелся на 2002-2005 годы, а стандарта PXIe на 2011-2015 годы. Экранирование в стандарте не предусмотрено, хотя некоторые фирмы его применяют.

PXI



Рис.2. Стандарт PXI

Стандарт AXIe (рис.3) был создан в 2010 году на основе стандарта ATCA для телекоммуникационных приложений. В версии AXIe-1 он имеет большую плату (333x280x30 мм) с обязательным экранированием, две магистрали LAN и PCIe, большую мощность рассеивания на модуль до 200 Вт [1].

AXIe



Рис.3. Стандарт AXIe

Архитектура AXIe наследует лучшие черты более ранних платформ построения модульных систем в открытых стандартах VXIbus, PXI и LXI. Также как VXIbus и PXI, архитектура AXIe основана на популярной модульной вычислительной платформе с добавлением функциональности, необходимой разработчикам и пользователям КИА. Базовой платформой для архитектуры AXIe является платформа AdvancedTCA (ATCA) – открытая архитектура построения модульных вычислительных устройств, ориентированная на создание инфраструктуры коммуникационных систем [2].

В 2014 году был создан упрощенный вариант AXIe под названием AXIe-0, который не имеет магистрали PCIe и обходится LAN. В основном его применению рассчитано на тестовые системы с большим количеством коммутаторов, не требующих высоких скоростей обмена.

В 2017 (Keysight) и 2018 (Информтест) годах появились новые системные модули, обеспечивающие построение многокрейтовых AXIe систем и скорости обмена до версии PCIe Gen-2 (40 Gb/sec) и PCIe Gen-3 (64 Gb/sec). В 2017 году в составе AXIe-1 стандарта появился новый оптический интерфейс ODI со скоростью обмена информацией до 640 Гб/сек. В стандарте AXIe реализуются тестовые системы для аппаратуры 5G для проверки новейших радаров, новые тестеры микросхем, системы с обработкой высокоскоростных потоков данных через оптический интерфейс ODI, новейшие системы связи, новые тестеры для физики высоких энергий и др. Следует отметить, что данные технические решения просто недоступны в других стандартах. AXIe является самым новым стандартом и по своим возможностям существенно превосходит остальные стандарты.

Стандарт LXI (рис.4) появился в 2005 году и практически заменил собой устаревший стандарт GPIB. Строго говоря, LXI нельзя отнести к модульным приборам, потому что у него нет геометрических ограничений на приборы и в стандарте нет модулей как таковых. Хотя следует отметить, что некоторые фирмы широко используют модульные решения в LXI системах, но габариты модулей они выбирают сами, и в основном такие решения применяются для автоматизированных коммутационных систем. Следует заметить, что практически все AXIe-0 модули можно одновременно считать модулями LXI с дополнительными функциями [1].

LXI



Рис.4. СИ с поддержкой стандарта LXI

Различие традиционного и модульного подходов

В настоящее время для построения АИС используются четыре базовых стандарта: VXI, PXI, LXI и AXIe.

Данные стандарты делятся на две большие группы: для модульных СИ (VXI, PXI, AXIe – рис. 5) и для традиционных СИ (LXI – рис. 4).



Рис.5 Модульное СИ

СИ традиционной архитектуры – это решения высокой степени готовности и универсальности.

СИ модульной открытой архитектуры и, соответственно, АИС на их основе, отличаются от традиционных СИ большей гибкостью, несколько меньшей степенью готовности и обладают следующими особенностями.

1. Простая модернизация и масштабирование.

Возрастающая сложность вновь появившихся тестируемых устройств может потребовать в будущем проведения модернизации АИС. При использовании приборов модульной конструкции открытой архитектуры

достаточно откорректировать ПО и, при необходимости, добавить в шасси (крейт) соответствующий измерительный модуль. При возникновении необходимости тестирования многоканальной аппаратуры прибор модульной конструкции легко отмасштабировать, добавив в шасси, дублирующие измерительные модули.

2. Малые массогабаритные характеристики.

Модульная конструкция предполагает более рациональное использование объема в силу применения единого корпуса, контроллера и источника питания для всех приборов. В такой конструкции нет необходимости в размещении органов управления и отображения информации на передней панели прибора, так как они присутствуют в ПО на экране управляющей ПЭВМ. Если необходимо собрать измерительный комплекс, состоящий из нескольких СИ, то массогабаритные и экономические преимущества, как правило, тоже на стороне модульных СИ.

3. Простая реализация технологии «виртуальных» приборов.

«Виртуальные» - это программно - конфигурируемые измерительные приборы. В традиционных СИ программная обработка данных и пользовательский интерфейс зашиты в сам прибор и могут быть изменены только изготовителем прибора (например, путем обновления, встроенного ПО). Таким образом, пользователь не может выполнять измерения, не включенные в перечень функций традиционного прибора, что затрудняет измерения по новым стандартам и модификацию системы – при возникновении необходимости.

Программируемые виртуальные приборы, наоборот, делают необработанные данные, получаемые от аппаратных средств, доступными для пользователя, и он может реализовать свои собственные функции измерений и свой пользовательский интерфейс (рис. 6).

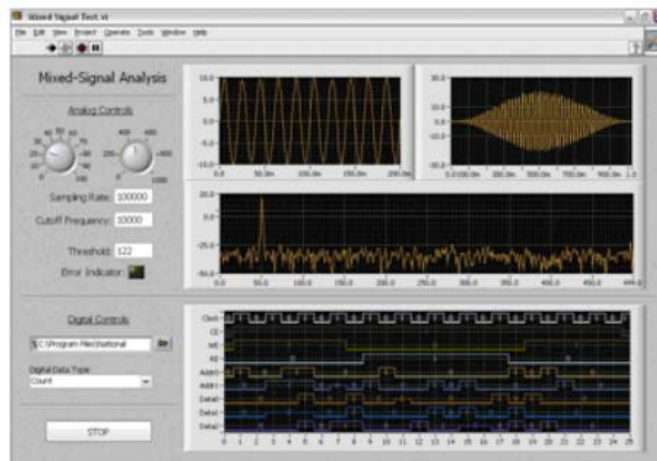


Рис.6. Виртуальный прибор

4. Синхронизация измерительных модулей.

Наличие единой системной шины, объединяющей модульные измерительные приборы, позволяет синхронизировать между собой измерительные процессы разных модулей в пределах всего крейта.

5. Высокая скорость обмена по системной магистрали

Модульным приборам требуются шины с высокой пропускной способностью и низким временем задержки подключения измерительных модулей к общему процессору для выполнения измерений, определяемых

пользователем. В то время как LAN предоставляет отличные потребительские свойства в смысле простоты использования, магистраль PCI Express и, соответственно, основанные на этой шине платформы PXIe и AXIe обеспечивают самую высокую производительность в модульных приборах.

Здесь надо сделать оговорку, что модульные СИ в настоящее время уже не уступают традиционным СИ ни по метрологическим характеристикам, ни по номенклатуре, а по функциональности порой даже превосходят их.

Структура АИС: общий подход

Готовых решений для построения АИС, как правило, не существует.

Во многом - это вопрос компромисса.

Разработчику АИС приходится руководствоваться требованиями экономического, технического, метрологического, эксплуатационного характера, требованиями обеспечения надежности. Подчас эти требования носят противоречивый характер.

Обобщенная структура АИС представлена на рис. 7.

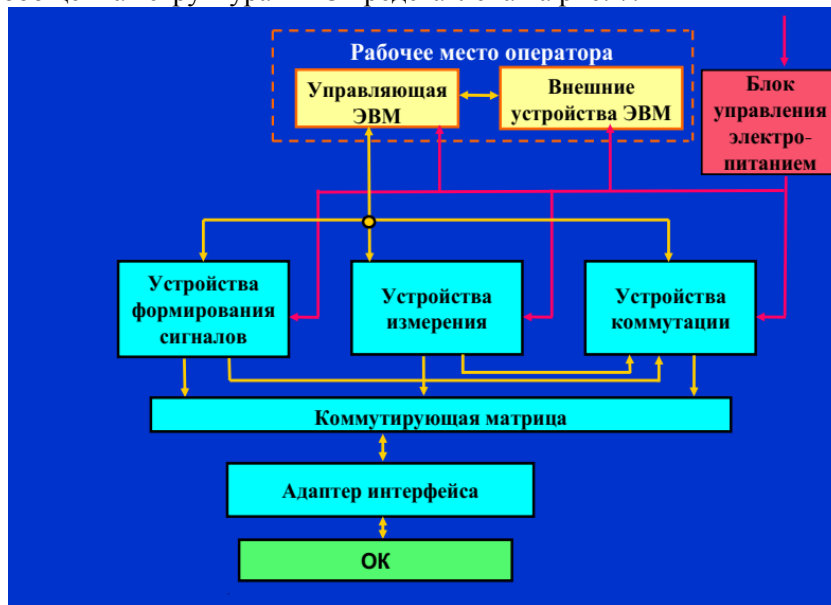


Рис.7. Обобщенная структура АИС

Одной из особенностей современных АИС является применение НЧ и ВЧ коммутаторов (на рис.7 – коммутационная матрица), позволяющие в автоматизированном режиме коммутировать между собой входы/выходы СИ АИС и входы/выходы ОК.

В первую очередь, при выборе конкретной структуры АИС, необходимо определиться со стандартом для её построения.

В свою очередь, для выбора стандарта, наиболее полно удовлетворяющего требованиям поставленной задачи, необходимо выработать критерии целесообразности, которым должна соответствовать АИС.

Критерии носят различный характер:

1. Критерий «эффективность-стоимость» подразумевает применение для построения АИС только таких СИ, которые не имеют завышенных метрологических характеристик, лишних, заведомо не используемых опций. Как

известно, стоимость СИ, имеющего дополнительные опции и повышенные характеристики, может в разы отличаться от базовой модели. Реализация этого принципа даёт возможность уменьшить срок окупаемости системы в целом.

2. Критерий сроков разработки системы. Сроки, отведенные на разработку, могут быть весьма сжатыми, что влечёт за собой необходимость выбора максимально готовых решений.

3. Критерий оперативности модернизации системы. В процессе эксплуатации АИС может сложиться необходимость проведения её модернизации в оперативном порядке. Как правило, такие требования оговариваются в техническом задании (ТЗ).

Наиболее просто вопрос модернизации АИС решается при использовании СИ модульной архитектуры путем добавления необходимых измерительных модулей и соответствующего ПО.

4. Критерий реализации нестандартных требований. Требования, предъявляемые к АИС, могут не соответствовать возможностям «стандартных» СИ, представленных на рынке.

Нестандартные требования могут быть наиболее легко реализованы применением СИ модульной архитектуры.

5. Критерий степени ремонтпригодности. Решается, насколько оперативным должно быть проведение ремонта.

Оперативный ремонт в эксплуатации легче всего произвести для модульных СИ, путем замены соответствующего модуля.

6. Критерий реализации технологии «виртуальных приборов». Реализация требований ТЗ по введению в функционал АИС относительно новой технологии «виртуальных приборов», существенно повышающей возможности системы.

Необходимость применения технологии «виртуальных приборов» автоматически выводит разработчика на применение СИ с модульной открытой архитектурой. Хотя в настоящее время некоторые производители СИ с традиционной архитектурой тоже снабжают их дополнительным ПО виртуальных приборов, но оно не обладает необходимой для АИС гибкостью применения, так как имеет закрытый код и не может быть модифицировано пользователем для использования в составе АИС (касается, конечно, метрологически не значимого ПО).

7. Критерий массогабаритных ограничений. Требования ТЗ, как правило, содержат ограничения массогабаритных параметров системы.

Если планируется применение в составе АИС нескольких СИ, то несомненное преимущество по массогабаритным характеристикам имеют СИ модульной архитектуры (рис. 8).

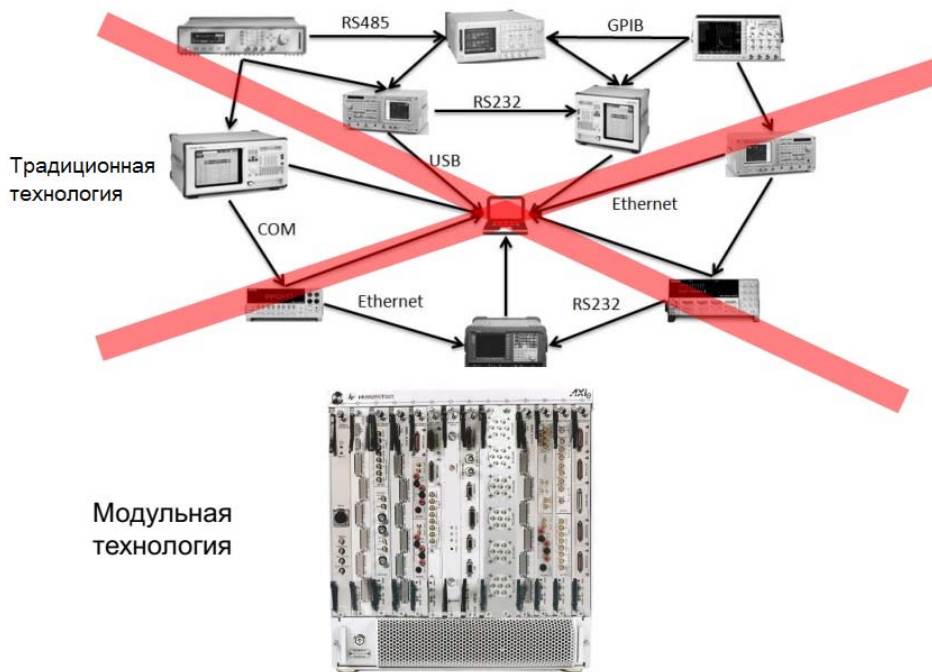


Рис.8. Сравнение СИ модульной и традиционной архитектуры

8. Критерий синхронизации СИ в составе АИС. Проблема часто заключается в том, что в составе АИС присутствуют СИ, управляемые при помощи интерфейсов различных типов, что не позволяет осуществить их синхронизацию в рамках АИС. Либо используется интерфейс одного типа, но его характеристики также не позволяют синхронизировать СИ.

Эта проблема решается выбором СИ модульной архитектуры, где все модули синхронизированы по внутренней магистрали.

Средства стандарта LXI также позволяют синхронизировать СИ при помощи внешних цепей (рис. 9).

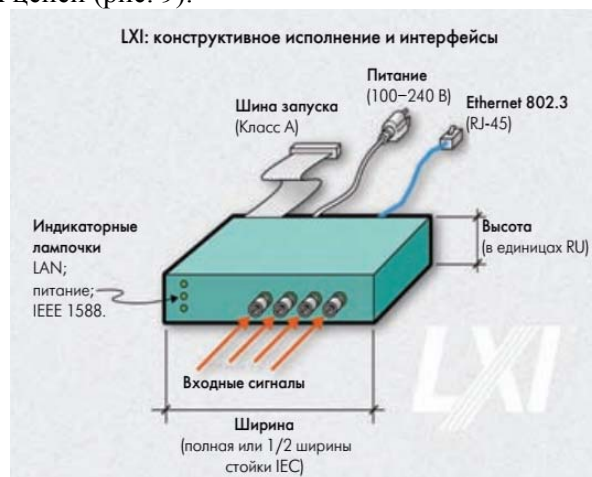


Рис.9. Внешние цепи СИ стандарта LXI

8. Критерий наличия отечественных стандартов. Требования ТЗ (заказчика) могут содержать жесткие ограничения на применение систем измерения, не стандартизованных в России.

Здесь следует учитывать, что из рассматриваемых систем стандартизованы в России VXI и AXIe.

Специальное ПО

Специальное ПО (СПО) – управляющее ПО, обеспечивающее выполнение основных функций АИС.

При разработке СПО в настоящее время существует два подхода.

1. Использование текстового программирования.

Под этим подходом понимается создание программ в традиционном стиле на основе как универсальных языков программирования, так и специально ориентированных на задачи сбора и обработки данных. Считается, что около половины специалистов предпочитают действовать таким образом.

Программирование, как правило, осуществляется на C/C++, Visual Basic и Delphi.

2. Использование графического программирования.

К системам, основанным на таком стиле программирования, относят пакеты, в которых пользователь осуществляет графическое построение функциональной схемы (блок-схемы, диаграммы) процесса или устройства, выбирая наиболее подходящие для данной задачи блоки из имеющихся в пакете библиотек (рис. 10).

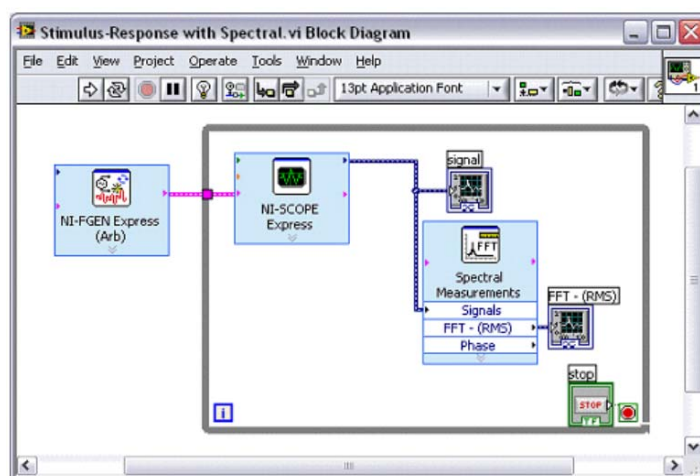


Рис.10. Пример среды графического программирования LabVIEW

Среда программирования LabVIEW является продукцией компании National Instruments и представляет собой средство разработки СПО, близкое по своей логической структуре к конструкциям языков Си или Бейсик. Однако, LabView в отличие от них использует не текстовый язык программирования, а графический – язык G. Он позволяет создавать программы в виде блок-схем. LabView имеет обширные библиотеки функций для решения различных задач, таких как: ввод/вывод, обработка, анализ и

визуализация сигналов; контроль и управление технологическими объектами; статистический анализ и комплексные вычисления; взаимодействие процессов и сетевые технологии ActivX и TCP/IP; поддержка SQL запросов; работа с Internet и др.

Очень часто в титульных свойствах пакета графического программирования для задач измерений и испытаний указывается о ненужности написания кода. Тем не менее, в этих системах также весьма часто допускается возможность использования пользовательского библиотечного блока, созданного с помощью текстового программирования.

Данное свойство предлагает альтернативу рассмотренному варианту построения систем сбора и обработки данных на основе C/C++ и Visual Basic и соответствующих специализированных библиотек [3].

Выводы

Рекомендации по построению АИС возможно дать только в общем виде.

В каждом конкретном случае необходимо определять оптимальную структуру АИС, исходя из многих критериев, как технического, так и экономического характера.

Следует отметить, что в настоящее время у разработчиков АИС существует достаточно широкий выбор средств, позволяющих гибко и технически обоснованно решить задачу создания АИС с заданными параметрами.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.Н. Зайченко. Какие платформы выбирать российскому потребителю для построения модульных тестовых систем? Холдинг «ИНФОРМТЕСТ» – 2019г.
2. ГОСТ Р 58286-2018 Архитектура базовая построения систем контрольно-измерительной аппаратуры АХИе-1. Технические требования.
3. В.В. Ширяев. Компьютерные измерительные средства. Томск – 2008г.
4. РМГ 29-2013 ГСОЕИ. Метрология. Основные термины и определения.

М. А. Грошев

АО «Сарапульский Радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОТВОДА ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Теплопроводящие печатные платы с металлическим основанием уже достаточно давно из экзотического продукта превратились в массовое, промышленное решение. Они прочно заняли свою нишу, которая в последние годы стремительно расширяется, в частности, в связи с развитием светодиодной осветительной техники.

В представленной работе рассматриваются различные материалы и особенности, которые следует учитывать при производстве плат с металлическим основанием.

Ключевые слова: печатная плата, теплопроводность, металлическое основание, диэлектрик.

Для цитирования: Грошев М. А. Повышение эффективности теплоотвода печатных плат.

INTENSIFICATION OF HEAT SINK FOR PRINTED-CIRCUIT BOARDS

M. A. Groshev

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

The present paper concerns the heat-conductive printed circuit boards with metal base, which long ago fall short of being news and became a mass production product. They securely occupied a market share, and the business segment continues to extend promptly, in particular, in connection with the development of LED illuminating engineering. For this reason heat sink of printed circuit boards is an important item.

The presented article considers various materials and features which should be taken into account at manufacturing the printed circuit boards with metal base.

Keywords: printed circuit board, heat conductivity, metal base, dielectric material.

For citing: Groshev M. A. Intensification of heat sink for printed-circuit boards.

Введение

С ростом степени интеграции элементной базы и плотности размещения компонентов на печатных платах (ПП) все большее значение приобретает учет тепловых процессов.

Проблему теплоотвода решают различными методами. Один из основных – применение плат с теплопроводящей основой. Для эффективного отвода тепла основа платы должна обладать низким термическим сопротивлением [1].

Оно определяется как:

$$R = \frac{d}{(\sigma * S)}(1)$$

где σ – удельная теплопроводность материала,

d – его толщина (длина теплопроводящего участка),

S – площадь сечения теплопроводящего участка.

Наиболее высокой теплопроводностью обладают металлы и подложки на основе керамических материалов (табл.1). Но последние в силу известных причин (стоимость, механическая прочность, невозможность получения плат большого размера, сложность обработки и т.п.) используются только для специальных задач. Поэтому уже много лет во всем мире расширяется применение печатных плат с металлическим основанием. Такие платы уже достаточно широко используются в светодиодных устройствах, в различных преобразователях тока, приводах электродвигателей, блоках питания, в сварочной технике и т.п.

Таблица 1. Теплопроводность различных материалов, Вт/(м*К) [2]

Алмаз	1001 - 2600
Серебро	430
Медь	382 - 401
Золото	320
BeO	220 - 240
AlN	200 - 240
Алюминий	202 - 236
Кремний	150
Латунь	97 - 111
Железо	92
Платина	70
Олово	67
Сталь	47
Кварц	8
Стекло	1

Конструктивные особенности печатных плат с металлическим основанием.

Конструктивно материал для ПП с металлическим основанием состоит из металлического основания, диэлектрика и фольги (рис.1). Толщина фольги колеблется от 35 до 350 мкм, диэлектрика – от 50 до 150 мкм, металлическое основание составляет от 0,5 до 3,2 мм. Наиболее употребительным, в частности - для светодиодной техники, является металлическое основание толщиной 1÷1,5 мм, диэлектрик толщиной 100 мкм, медная фольга толщиной 35 мкм.

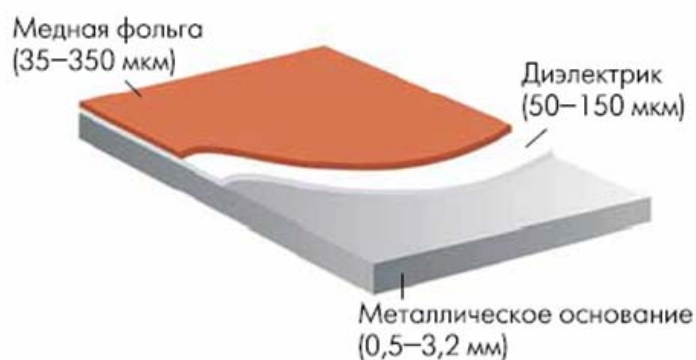


Рис.1. Конструкция материала ПП с металлическим основанием. [4]

Металлическое основание

В качестве металлической основы используются различные сплавы алюминия, а также медь, железо и нержавеющая сталь. Рассмотрим каждый из этих материалов подробнее.

Среди сплавов алюминия (табл.2) наиболее используемые материалы 1100 (по ГОСТ – АД), 5052 (АМг2,5) и 6061 (АД33).

Таблица 2. Тепловые свойства сплавов алюминия[3]

Сплав	Коэффициент теплового расширения (20-100°C), $10^{-6}K^{-1}$	Теплоемкость (0-100°C), Дж/(кг*К),	Теплопроводность (20°C), Вт/(м*К)
1100	23,6	904	222
5052	23,8	900	138
6061-T6	23,6	896	167

Сплав алюминий 1100 (АД) очень близок по составу к чистому алюминию. Из-за этого он обладает очень хорошей теплопроводностью (220Вт/(м·К)) и пластичностью. Вместе с тем он обладает такими очень серьезными недостатками, как невысокая механическая прочность и высокая вязкость. Последний недостаток наиболее существенен, поскольку он затрудняет

механическую обработку платы посредством фрезерования. Но для штамповки такой материал идеален.

Сплав алюминий 5052 (АМг2,5) наиболее употребителен из-за своей технологичности и дешевизны. Он обладает не самой высокой теплопроводностью 140 Вт/(м·К), но для большинства применений ее вполне достаточно.

Сплав алюминий 6061 (АД33) отличается повышенной коррозионной стойкостью и достаточно высокой теплопроводностью – порядка 170 Вт/(м·К). Материал хорошо обрабатывается фрезерованием. Основным его недостаток – высокая цена.

Помимо алюминиевых материалов для теплопроводящих ПП достаточно распространены медные основания. Медь обладает рядом выраженных недостатков. Этот материал вязок, а потому плохо обрабатывается фрезерованием. Он отличается низкой коррозионной стойкостью и очень высокой ценой. Но эти недостатки компенсирует высочайшая теплопроводность меди – 390 Вт/(м·К), что в ряде применений является решающим преимуществом.

В качестве оснований теплопроводящих ПП используют и нержавеющую сталь. Ее явные достоинства – высокие коррозионная стойкость и механическая прочность, существенно превосходящие алюминиевые и медные материалы. Но у стали низкая теплопроводность и относительно высокая цена.

Диэлектрики

Самый важный элемент ПП, наиболее серьезно влияющий на их свойства и стоимость, – это диэлектрики. В качестве диэлектрика используются препреги FR4 (стеклоткань с эпоксидным связующим), препреги на основе стеклоткани и эпоксидной смолы с различными теплопроводящими наполнителями, теплопроводящие композитные материалы, а также полиимид. Наиболее часто в теплоотводящих ПП используются композитные материалы. Законодателем мод в области теплопроводящих материалов для электронной техники выступает компания Bergquist (США). Она одной из первых освоила серийное производство материалов для ПП с алюминиевым и медным основанием (ThermalClad). Кроме нее, сегодня на рынке наиболее активны компании Laird (торговая марка – Thermagon) (США), Totking (Китай), Ruikai (Китай), Denka (Япония) и др. На российском рынке в основном представлены материалы компаний Totking и Ruikai.

Многослойные ПП

Помимо односторонних плат на металлическом основании выпускаются двухсторонние и многослойные ПП. Конструкция таких плат (рис.2) состоит из металлической основы, на которую напрессовывается ПП, в качестве материала диэлектрических слоев в которой используется не FR4, а специализированные материалы с высокой теплопроводностью. Но поскольку теплопроводность полимерного диэлектрика существенно хуже, чем у меди или алюминия, в многослойных ПП для улучшения теплоотвода могут формироваться специальные теплопроводящие металлизированные отверстия, позволяющие увеличить площадь сечения теплоотвода (см. рис.7). А при проектировании слои

с наибольшей площадью металлизации стремятся располагать как можно ближе к металлической основе.

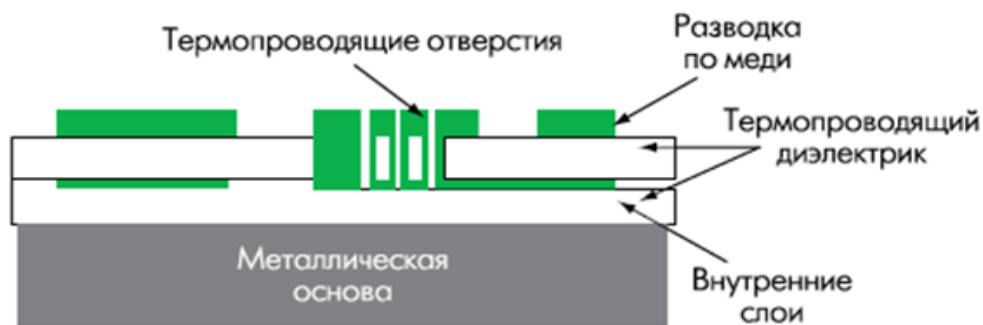


Рис.2. Конструкция многослойной ПП на металлическом основании. [4]

Отмечу, что в данном случае можно использовать и выводной монтаж. Для этого в металлическом основании предусматриваются специальные вырезы, и после прессовки основания остается доступ для монтажа выводных и/или навесных элементов. При этом в качестве диэлектрика при прессовке платы к металлическому основанию необходимо использовать препреги с низкой текучестью связующего. Для диэлектрических слоев в многослойных ПП выпускаются специальные диэлектрики. В частности, такие материалы (препреги и ламинаты) выпускает компания Bergquist под торговой маркой Thermal Clad.

Механическая обработка

Механическая обработка ПП на металлической основе отличается рядом особенностей. При сверлении таких плат используются стандартные сверла, что и для ПП на основе FR4. Мелкие и средние серии таких печатных плат обрабатываются посредством фрезерования.

Серьезные производители режущего инструмента выпускают специальные фрезы для обработки алюминия. Также активно применяется скрайбирование, для чего используются специализированные установки. В них используются специальные фрезы и дополнительные системы жидкостного охлаждения рабочего инструмента. Крупные серии печатных плат на металлическом основании, как правило, обрабатываются штамповкой и скрайбированием.

Разумеется, стоимость материала с металлическим основанием высока – в среднем, для подложек с алюминиевой основой, в пять раз выше обычной. Тут важно отметить, что на стоимость ПП в целом, помимо массы других факторов, существенно влияет раскладка материалов под монтаж, т.е. коэффициент использования материала.

ПП с термопроводящим пластиком

Помимо изготовления ПП со структурой металлическая основа-диэлектрик-фольга, развиваются и другие технологии. Например, известна технология изготовления ПП на основе теплопроводящих пластиков компании CoolPolymers (США). В частности, компания производит термопроводящий материал CoolPolyD5108 на основе сульфида полифенилена (PolyphenyleneSulfide – PPS). Этот материал обладает удельной теплопроводностью 10Вт/(м·К), диэлектрической проницаемостью 3,7 (1 МГц) и напряжением пробоя 29 кВ/мм. При изготовлении печатных плат на такой материал химически осаждается медь, затем формируется слой гальванически осажденной меди и уже традиционным способом формируется токопроводящий рисунок (рис.3). Одна из серьезных проблем внедрения таких материалов – их относительно высокая цена. Достаточно сказать, что исходный материал, из которого производят пластиковое основание, в США стоит порядка 80–90 долларов за килограмм.



Рис.3. ПП на основе материалов CoolPoly компании CoolPolymers [4]

Доступность технологии ПП с металлическим основанием

Технологии изготовления ПП с металлическим основанием уже достаточно распространены. В частности, в России компания «Резонит» несколько лет производит ПП с алюминиевым основанием на материалах Totking и Ruikai, а также поставляет материалы для ПП с металлическим основанием. Выбор материалов китайских производителей связан с тем, что крупные заказы ПП производятся в странах ЮВА, производители которой в основном используют именно материалы компаний Totking и Ruikai. Перед запуском крупной партии заказчику необходимо получить прототипы, как можно более точно соответствующие серийным образцам, иначе результаты их испытаний не будут адекватны. Поэтому компания «Резонит» и

поддерживает складской запас материалов Totking, чтобы иметь возможность быстро изготовить прототипные платы на основе именно тех материалов и технологий, которые затем будут использоваться при выпуске серийной продукции. Основываясь на опыте работы с платами компании «Резонит», можно сделать вывод, что дальнейшее разнообразие материалов, на которых строится основа ПП, будет только расширяться.

Заключение

В данной статье рассмотрена часть материалов, которые используются в создании основы ПП, структура конструкции ПП, а также компании мирового уровня, которые занимаются производством ПП. Исследуемая тема в данной статье является быстро развивающейся, так как проблема теплоотвода все чаще встречается при работе с изделиями чувствительными к тепловым нагрузкам.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://acadomia.ru/wiki>
2. http://zaozmi.ru/polezno/tablica_teploprovodimosti_metallov.html
3. <http://thermalinfo.ru/svoystva-materialov/metally-i-splavy>
4. https://tech-e.ru/2011_6_26.php
5. <https://sepco.ru/pcb-types/pechatnye-platy-na-metallicheskom-osnovanii.html>

А. А. Окатьев

АО «Сарапульский радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

**МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ НЕРАВНОМЕРНОСТИ ДИАГРАММЫ
НАПРАВЛЕННОСТИ АНТЕНН, УСТАНОВЛЕННЫХ НА
ТРАНСПОРТНОЙ БАЗЕ**

В статье представлены методы оценки неравномерности диаграммы направленности антенн. Проведено исследование зависимости характеристик направленности излучателя от его расположения и окружающих предметов. По результатам проведенных исследований сформулированы рекомендации по размещению антенн с учётом снижения влияния кузова автомобиля на характеристики направленности.

Ключевые слова: коэффициент неравномерности диаграммы направленности, коэффициент усиления антенны, вертикальный несимметричный вибратор.

A. A. Okatiev

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

**METHODS FOR ESTIMATING THE IRREGULARITY OF THE
DIRECTIONAL DIAGRAM OF ANTENNAS INSTALLED ON A
TRANSPORT BASE**

The present paper concerns methods of assessment of unevenness of the directional pattern of antennas. The study of dependence of characteristics of the emitter orientation on its arrangement and surrounding objects is undertaken. According to results of the study recommendations about placement of antennas taking into account decrease in influence of a car body on directional characteristic are formulated.

Keywords: irregularity factor, antenna gain, vertical monopole.

Введение

Антенны - радиотехнические устройства, предназначенные для приема или излучения электромагнитных волн. Антенна является составной частью любой радиотехнической системы, связанной с излучением или приемом радиоволн. К таким системам относят: системы телевидения, радиовещания, радиосвязи, радиорелейной связи, радиолокации и др.

Антенна, вне зависимости от конструкции, обладает свойством обратимости (может работать как на прием, так и на излучение). Часто в радиорелейных трактах одна и та же антенна может быть подключена одновременно к приемнику и передатчику. Это позволяет излучать и принимать сигнал в одном направлении на разных частотах.

Одна из основных характеристик любой антенны является диаграмма направленности. Диаграмма направленности или графическое представление зависимости коэффициента усиления (коэффициент направленного действия) антенны от направления антенны в заданной плоскости является основной характеристикой, описывающей её направленные свойства.

Диаграмма направленности

Диаграмма направленности (антенны) - графическое представление зависимости коэффициента усиления антенны или коэффициента направленного действия антенны от направления антенны в заданной плоскости.

Диаграммой направленности (ДН) антенны по полю часто называют зависимость модуля комплексной амплитуды вектора напряженности E электрической компоненты электромагнитного поля, создаваемого антенной в дальней зоне, от угловых координат и точки наблюдения в горизонтальной и вертикальной плоскости.

По форме диаграммы направленности антенны обычно подразделяются на узконаправленные и широконаправленные. Узконаправленные антенны имеют один ярко выраженный максимум, который называют основным лепестком, и побочные максимумы (обычно имеющие отрицательное влияние), амплитуду которых стремятся уменьшить.

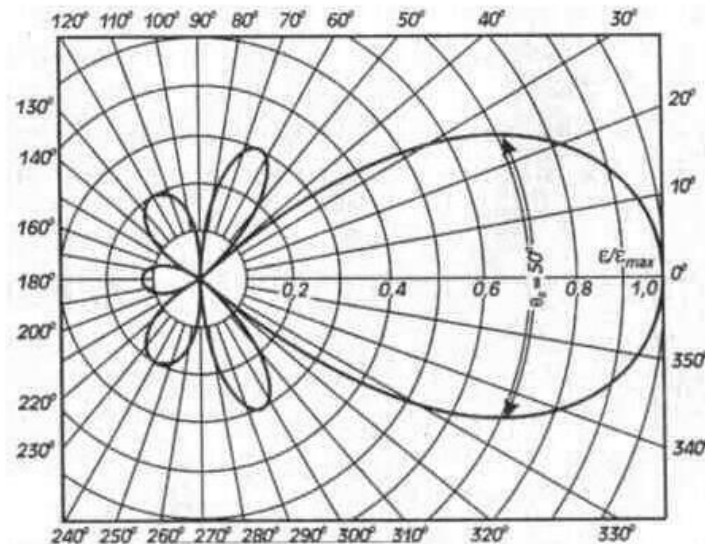


Рисунок 1. Диаграмма направленности направленной антенны в полярной системе координат

Примером узконаправленной антенны является логопериодическая антенна.

Узконаправленные антенны применяют для концентрации мощности радиоизлучения в одном направлении для увеличения дальности действия радиоаппаратуры, а также для повышения точности угловых измерений в радиолокации.

Широконаправленные антенны имеют хотя бы в одной плоскости диаграмму направленности, которую стремятся приблизить к круговой.

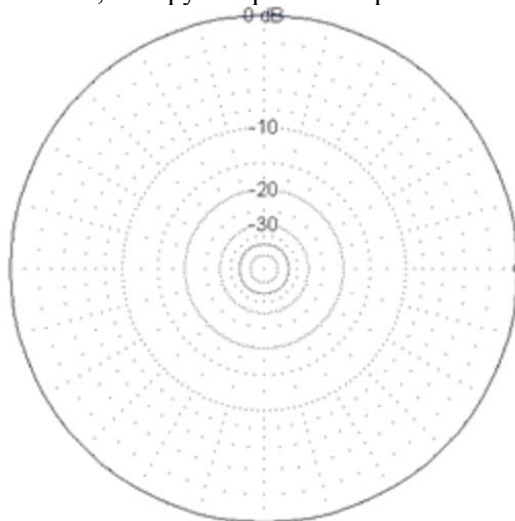


Рисунок 2. Диаграмма направленности ненаправленной антенны в горизонтальной плоскости

Широконаправленные антенны находят применение, например, в телерадиовещании. Примером широконаправленной антенной является штыревая антенна.

Варианты оценки диаграммы направленности антенны, установленной на транспортной базе

Основными вариантами оценки диаграммы направленности антенны установленной на транспортной базе являются два способа:

- Моделирование в программном пакете ANSYS HFSS;
- Измерение диаграммы направленности антенны различными способами.

Моделирование

Идея компьютерного моделирования антенн весьма перспективна: смоделировав в программе любую конфигурацию из проводов и труб, можно посмотреть, как это будет работать в качестве антенны и получить основные характеристики излучателя. Появляется возможность исследовать антенну и, изменяя параметры, оптимизировать под конкретные условия и требования, а также оценить влияние окружающих объектов на изменение характеристик антенны. На реальной антенне измерение параметров трудозатратно или нецелесообразно.

Для оценки неравномерности диаграммы направленности антенн, установленных на транспортной базе используются различные специализированные программы, например, ANSYS HFSS. Программное обеспечение ANSYS HFSS отлично подходит для анализа основных параметров разнообразных ВЧ и СВЧ устройств, включая антенны.

Моделирование в программном пакете ANSYS HFSS

Моделирование в программном пакете ANSYS HFSS позволяет исключить дорогостоящие измерительные приборы и безэховые камеры для измерения диаграммы направленности антенн.

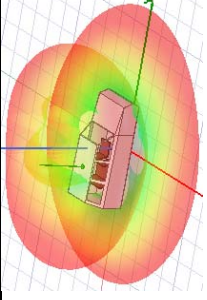
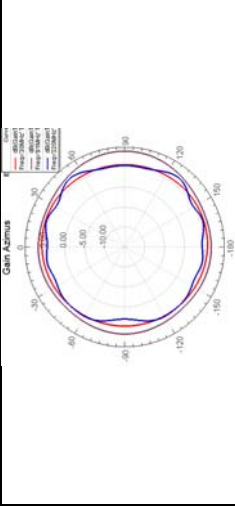
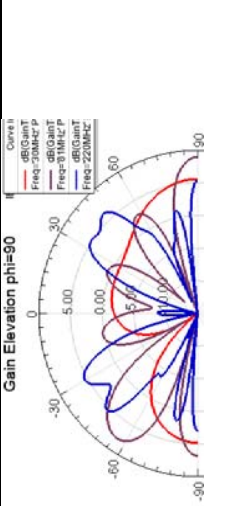
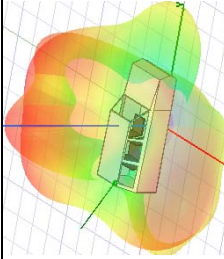
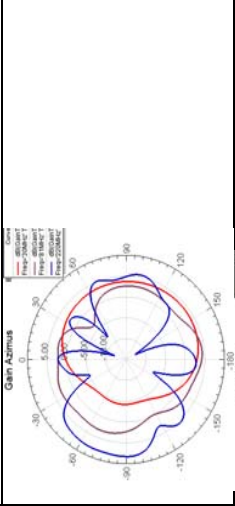
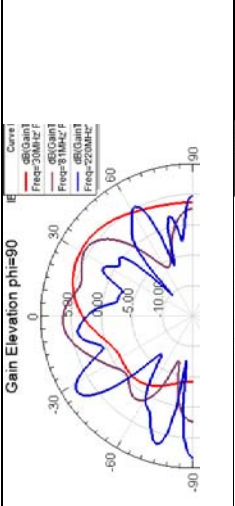
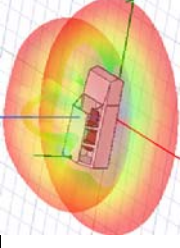
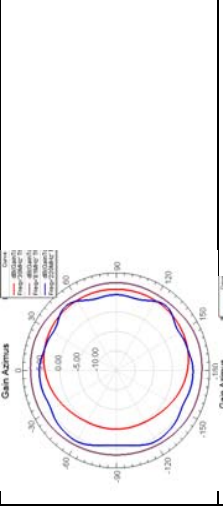
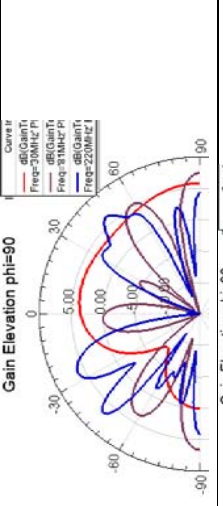
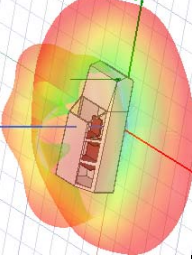
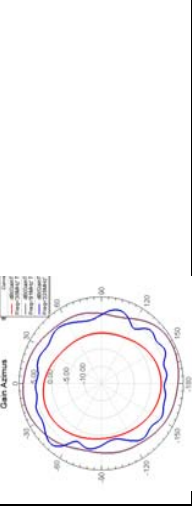
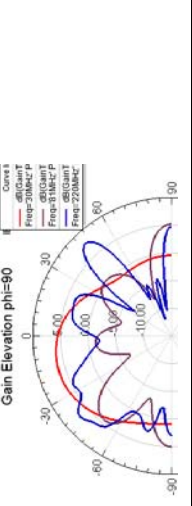
При установке антенны на транспорт её параметры изменяются вследствие расположения в непосредственной близости с металлической конструкцией в виде кузова автомобиля. Прежде всего это касается диаграммы направленности.

В качестве примера представлены результаты моделирования штыревой антенны 30-220 МГц установленной на транспортной базе УАЗ Патриот в следующих точках размещения антенны на кузове автомобиля:

- в центре крыши автомобиля;
- на краю крыши под углом;
- над задней дверью;
- в передней части автомобиля.

Результаты моделирования широкополосной антенны диапазона 30-220 МГц с учетом транспортной базы УАЗ Патриот представлены в таблице 1.

Таблица 1 - результаты моделирования антенн с учетом транспортной базы УАЗ Патриот.

Тип антенны	Место размещения антенны	Диаграмма направленности, полученная в результате моделирования в 3Д	Диаграмма направленности и оценка коэффициента усиления по азимуту, полученные в результате моделирования	Диаграмма направленности и оценка коэффициента усиления по углу места, полученные в результате моделирования
Широкополосная штыревая антенна диапазона 30-220 МГц, длина 1500 мм	На крыше в центре			
	На краю крыши под углом			
	Над задней дверью			
	В передней части автомобиля			

Из результатов моделирования можно сделать следующие выводы:

- меньшее влияние на искажение характеристики направленности оказывает расположение антенны, установленной в центр крыши автомобиля;
- установка штыревых антенн в другие места крыши и на другие элементы кузова искажает характер диаграммы направленности по азимуту;
- изменение угла наклона штыревых антенн приводит к снижению коэффициента усиления антенны по азимуту, искажению азимутальной диаграммы направленности и увеличению коэффициента усиления антенны по углу места (максимум излучения приходится на угол 30^0 - 60^0 относительно поверхности земли).

Недостатком компьютерного моделирования является то, что модель в теории не имеет подтверждения и доказательств природных явлений в реальных условиях.

Для оценки измерений, полученных в результате моделирования, требуется сравнить результаты с реальными измерениями антенны и оценить полученные результаты.

Измерение диаграммы направленности антенны различными способами

Основными методами измерения диаграммы направленности являются следующие:

- полигонные измерения в дальней зоне антенны;
- метод облета исследуемой антенны по заданной траектории;
- радиоастрономический метод измерения по внеземным источникам излучения;
- коллиматорный метод.

При выборе способа измерения ДН существенное значение имеют экономические затраты, связанные со строительством измерительных антенных полигонов больших размеров, безэховых измерительных камер, и затраты на СВЧ измерительную аппаратуру. Организация измерений ДН непосредственно в СВЧ-диапазоне является достаточно дорогостоящим предприятием, в то время как стоимость генерирующих и приемных устройств для акустического (звукового) диапазона частот на несколько порядков ниже.

Метод полигонных (лабораторных) измерений в дальней зоне

Простейшая структурная схема метода полигонных измерений в дальней зоне представлена на рисунке 3.

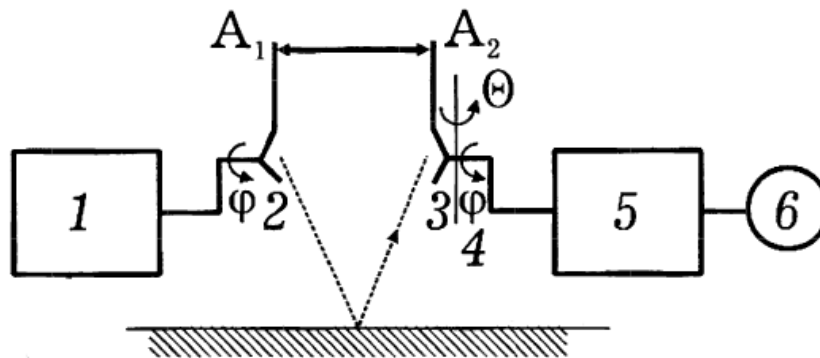


Рисунок 3. Схема метода полигонных измерений

Исследуемая антенна 3 (для определенности работающая в режиме приема) располагается на опорно-поворотном устройстве 4. На расстоянии $r=2D^2/\lambda$ (где D - размер исследуемой антенны) в дальней зоне этой антенны расположена вспомогательная передающая антенна 2, возбуждаемая

генератором 1. Приемное устройство 5 имеет стрелочный или цифровой регистратор (индикатор) 6, поступающей на вход приемного устройства мощности. Зависимость показаний этого индикатора p от угла поворота Θ антенны 4 при некотором фиксированном угле поворота φ_1 является сечением диаграммы направленности антенны по мощности $P(\Theta, \varphi_j)$ в плоскости $\varphi_j = \text{const}$. Выбирая различные значения угла $\varphi_j = \varphi_1, \varphi_2, \dots$, можно измерить диаграмму направленности в различных сечениях.

Одним из главных недостатков полигонных измерений в дальней зоне является необходимость обеспечения значительных расстояний между исследуемой и вспомогательной антеннами при измерении диаграмм остронаправленных антенн. При этом существенно возрастают затраты на строительство полигонов и увеличиваются погрешности измерений из-за влияния земли.

Метод облета антенны по заданной траектории и астрономический метод измерения диаграммы направленности антенн

Существует метод облета исследуемой антенны по заданной траектории и радиоастрономический метод измерения. В первом из них вспомогательная антенна располагается на самолете или вертолете, который совершает облет исследуемой остронаправленной антенны по заданной (часто круговой) траектории в дальней зоне антенны. Однако этот метод имеет ограниченное применение из-за сложности, высокой стоимости, малой производительности измерений и относительно малой точности из-за невозможности постоянно выдерживать точную траекторию полета.

При радиоастрономическом методе измерений в качестве источника излучений используется естественное излучение, излучение внеземных источников (Солнце, Лебедь, Кассиопея, Дева, Центавр и др.) в диапазоне прозрачности атмосферы и ионосферы Земли $1.25\text{см} < \lambda < 20\text{м}$. Роль поворотного устройства выполняет Земля, вращающаяся вокруг своей оси.

Мощность шумов, принимаемая остронаправленной антенной от одиночного источника внеземного излучения, пропорциональна диаграмме направленности антенны по мощности. Недостатком радиоастрономического метода измерений является малая скорость измерений, ограниченность измерений сечений диаграммы только в плоскостях вращения Земли. Кроме того, так как внеземные источники являются широкополосными, измеренная диаграмма является результатом усреднения в полосе частот приемного устройства, поэтому метод имеет ограниченное применение при измерении ДН узкополосных антенн.

Коллиматорный метод измерений диаграммы направленности антенн

При коллиматорном методе нет необходимости в выборе больших расстояний между антеннами и измерения проводятся в ближней зоне антенн. В коллиматорном методе измерений (рисунок 4) поле плоской волны от вспомогательной антенны 5, возбуждаемой генератором 4, создается с помощью коллиматора 1. В качестве коллиматора используются зеркальные, линзовые и некоторые другие типы антенн. Причем раскрыв коллиматора должен быть больше раскрыва исследуемой антенны 2. Диаграмма направленности антенны измеряется как зависимость амплитуды, регистрируемой приемным устройством 3, от направления между нормалью к раскрыву антенны и нормалью к фронту плоской волны.

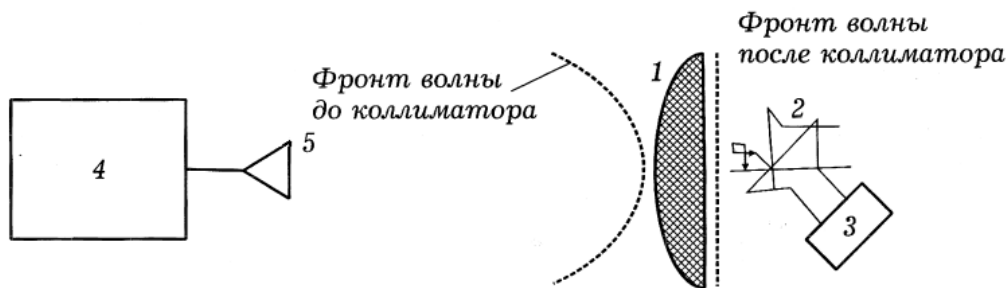


Рисунок 4. Коллиматорный метод измерений

Достоинствами коллиматорного метода являются существенное уменьшение размеров измерительной площадки при сохранении преимуществ закрытых полигонов и пригодность для проведения радиолокационных измерений (например, определения эффективной площади рассеивания объекта).

Основным недостатком является очень высокая стоимость коллиматора и сложность эксплуатации, связанная с его обслуживанием.

Измерение диаграммы направленности антенны коллиматорным методом и методом облета антенны по заданной траектории нецелесообразно из-за очень высокой стоимости измерительной аппаратуры. Измерение диаграммы направленности антенн радиоастрономическом методом имеет существенный недостаток из-за малой скорости измерения и ограниченностью измерений сечений диаграммы только в плоскости вращения Земли.

Наиболее простой и мало затратный способ измерения диаграммы направленности антенны является полигонный метод измерения в дальней зоне исследуемой антенны.

Оценка влияния расположения исследуемой антенны на транспортной базе ТагАЗ Тагер на диаграмму направленности методом полигонных измерений

Для исследования влияния металлического корпуса автомобиля ТагАЗ Тагер на диаграмму направленности антенны и коэффициент усиления была использована антенна LemmAT 2001 Turbo, изображенная на рисунке 5. Характеристики антенны LemmAT 2001 Turbo приведены в таблице 2.



Рисунок 5. Внешний вид антенны LemmAT 2001 Turbo

Таблица 2. Технические характеристики антенны LemmAT 2001 Turbo

Наименование показателя	Значение
Рабочий диапазон частот, МГц	26.5-28 МГц
Номинальное волновое сопротивление, Ом	50
Поляризация	Вертикальная
Коэффициент усиления, дБ	6.5
КСВ, не более, ед	1.1-1.2
Габариты антенны, м	2
Масса, г	880



Рисунок 6. Размещение антенны LemmAT 2001 Turbo передней части автомобиля

Для измерения коэффициента усиления исследуемой антенны передающая антенна располагается на расстоянии $r=2D^2/\lambda$ в дальней зоне в азимутальной плоскости от исследуемой антенны.

С помощью передвижения автомобиля осуществляется изменение угла размещения исследуемой антенны в азимутальной плоскости относительно вспомогательной антенны, которая является передающей.

В ходе измерений коэффициента усиления принимаемого сигнала угол поворота исследуемой антенны относительно передающей антенны изменялся с шагом $\varphi=15^\circ$ (от 0° до 360°) в азимутальной плоскости.

По результатам измерения коэффициента усиления в дальней зоне исследуемой антенны была проведена аппроксимация данных и получен график описывающий диаграмму направленности антенны.

Выполнено исследование характеристик диаграммы направленности антенны в трех точках корпуса автомобиля: в центре крыши автомобиля, в передней части автомобиля, на краю крыши.

Результаты измерения диаграммы направленности и коэффициента усиления антенны LemmAT 2001 Turbo в азимутальной плоскости установленной на корпус автомобиля ТаГАЗ Тагер представлены на рисунках 7 и 8.

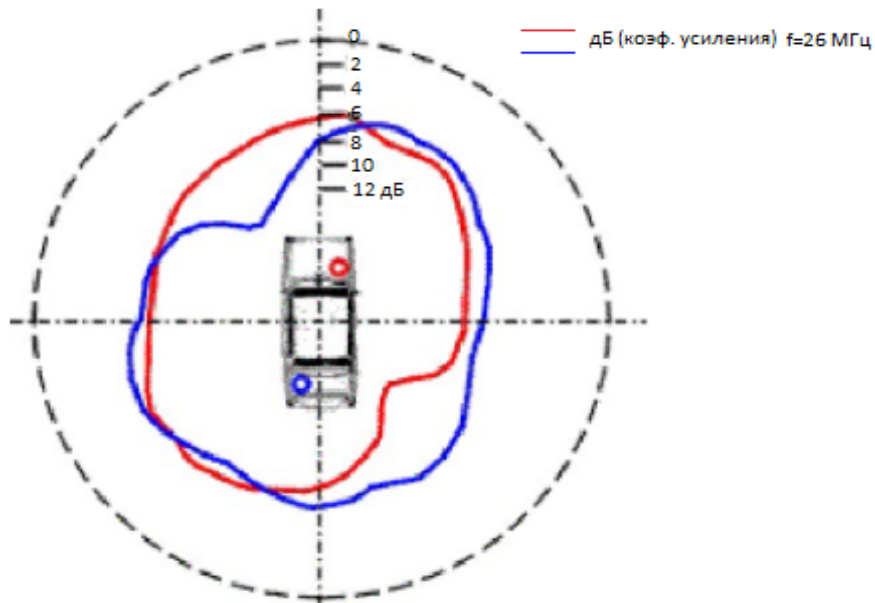


Рисунок 7. Диаграмма направленности и оценка коэффициента усиления по азимуту при расположении антенны в передней части автомобиля и на краю крыши

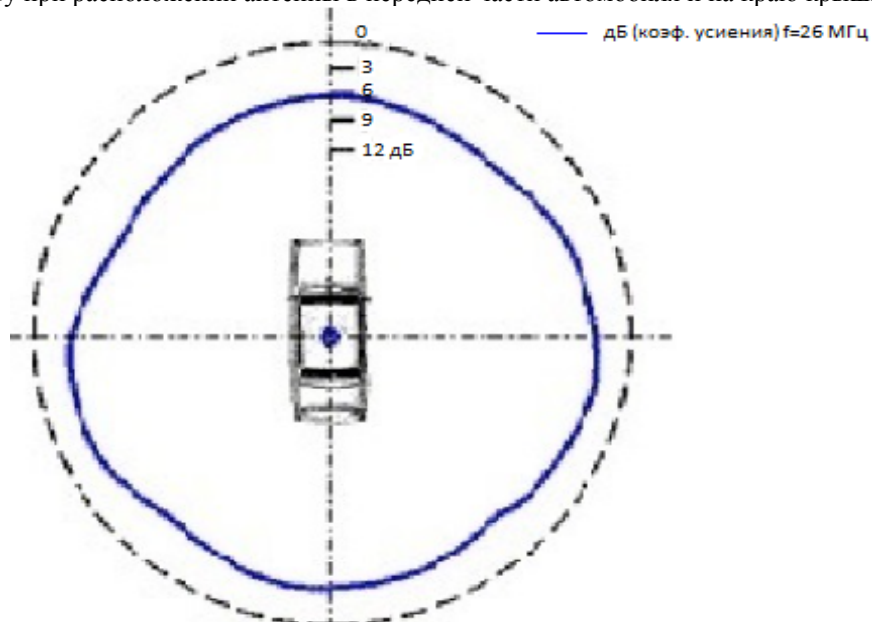


Рисунок 8. Диаграмма направленности и оценка коэффициента усиления по азимуту при расположении антенны в центре крыши

Для случая, рассмотренного в примере с учетом выбранных мест, наибольшее искажение диаграммы направленности наблюдается у антенн, расположенных в передней части автомобиля и на краю крыши. Целесообразно размещать антенну в центре крыши автомобиля, что позволяет уменьшить коэффициент неравномерности диаграммы направленности антенны.

Заключение

В данной статье рассмотрены методы измерения диаграмм направленности антенн в ближней и дальней зонах. Выполнено моделирование антенны с учетом транспортной базы. Проведено измерение диаграммы направленности и оценка коэффициента усиления антенны методом полигонных измерений в дальней зоне антенны, установленной на транспортную базу.

По результатам моделирования антенны в программе ANSYS HFSS и результатам измерения диаграммы направленности антенны полигонным

методом в дальней зоне антенны можно сделать следующий вывод: для снижения коэффициента неравномерности ДН целесообразно обеспечить работу радиостанций совместно с антенной, расположенной в центре крыши автомобиля. Для случаев, рассмотренных в примере, с учетом выбранных мест, наибольшее искажение диаграммы направленности антенны наблюдается у антенн, расположенных в передней и задней части автомобиля. Расположение антенны в центре крыши позволит снизить резкие изменения уровня сигнала при различном направлении на корреспондента.

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Коротковолновые антенны. Под ред. Г. Айзенберга. Издание 2-е. - М.: Радио и связь, 1985.
2. Неганов В.А., Табаков Д.П., Яровой Г.П. Современная теория и практические применения антенн. Под ред. Неганова В.А.. Издательство «Радиотехника» Москва, 2009.
3. Антенны КВ и УКВ. Часть 2. Основы и практика. - М.: ИП РадиоСофт, журнал «Радио», 2005. - 288 с.: ил.
4. Карл Ротхаммелер "Антенны" Том 1, Издание одиннадцатое.

В. А. Усков

АО «Сарапульский радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

ПУТИ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ОСЕВОГО ВРАЩЕНИЯ ГИРОСТАБИЛИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ, РАБОТАЮЩИХ В ЖЕСТКИХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрена возможность применения в гиростабилизированных устройствах активных магнитных подшипников для работы в жестких условиях эксплуатации.

Ключевые слова: гиростабилизированные устройства, поворотная платформа, магнитный подшипник, подшипник, схема управления.

V. A. Uskov

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

TENTATIVE SOLUTION OF A PROBLEM OF AXIAL ROTATION OF GYROSTABILIZED DEVICES OPERATING IN ABNORMAL OPERATION CONDITIONS

The present paper considers the applicability of auxiliary bearings in gyrostabilized devices in case of severe environment.

Keywords: gyrostabilized device, rotary platform, magnetic bearing, bearing, control modul

Введение

В настоящее время существует необходимость изготовления ряда изделий, в основе которых применяется платформа, предназначенная для размещения на них оптико-электронных приборов, объединяя их в единую гиростабилизированную систему. Данная платформа также может применяться в автоматическом наведении спутниковых антенн, станочном оборудовании и в роботизированных комплексах. Возможность изменения положения платформы относительно базы, на которой она установлена, обеспечивают два безколлекторных двигателя. Платформа может совершать поворот вокруг своей оси на 360° . Радиальные и осевые нагрузки снимаются радиальными шариковыми подшипниками. Температурный режим работы таких изделий находится в диапазоне от минус 40°C до плюс 55°C . Ужесточение условий работы, не допускающих использование традиционных подшипников качения или скольжения, приводит к рассмотрению иных видов подшипников.

Целью работы является проверка возможности применения активного магнитного подшипника в гиростабилизированных устройствах. Активный магнитный подшипник (АМП) – это передовое мехатронное устройство, которое обеспечивает бесконтактную поддержку вращающегося или неподвижного вала, подвешенного в магнитном поле. Положение вала поддерживается путем воздействия на ротор управляемых электромагнитных сил, как в радиальном, так в осевом направлении.

Система АМП состоит из магнитов и электронной части. Датчики положения измеряют радиальные и осевые смещения вала с точностью менее микрона. Такая подвешенная конструкция обуславливает отсутствие соприкосновения и износа деталей, а также необходимости смазывания.

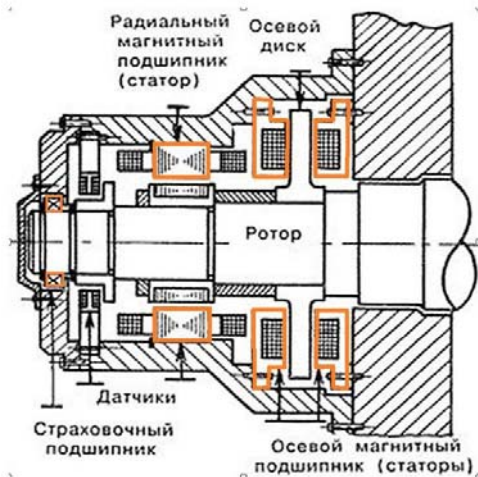


Рис.1. Компоненты АМП

Электронный контроллер активного магнитного подшипника состоит, главным образом, из цифрового процессора сигналов, мозгового центра системы и усилителей мощности, которые подают электрический ток на магнитные подшипники для создания магнитного поля. Цифровой процессор сигналов собирает данные о положении вала с высокой частотой обновления значений (например, 15 кГц) от датчиков положения, исправляет ошибки с помощью сложных алгоритмов и регулирует мощность усилителей, чтобы вал поддерживался в требуемом положении, в радиальном и осевом направлениях.

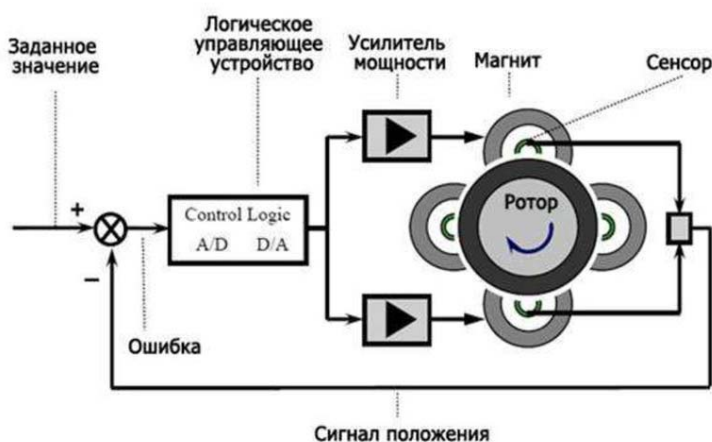


Рис.2. Электронная система управления

Система АМП обеспечивает жёсткие и демпфирующие усилия и может влиять на динамическое поведение ротора во время работы. Жёсткость и демпфирование подшипников оптимизируются с помощью сложных математических алгоритмов, в результате чего обеспечивается устойчивая работа гиросtabilизированной платформы в широком диапазоне условий эксплуатации от минус 253⁰С до плюс 450⁰С со скоростью вращения до 350 м/с. Такое активное управление фундаментальным образом отличается от того, что имеет место в случае обычных подшипников, и оно обеспечивает ряд преимуществ, таких как контроль вибрации и разбалансировки. При отключенном подвесе, а также в случае аварийного отключения электропитания ротор опирается на страховочные подшипники. Эти подшипники устанавливаются с зазором, поэтому в нормальном режиме работы они не вращаются.

Платформа, собранная на АМП, имеет множество преимуществ:

- отсутствие трения;
- отсутствие изнашивания;
- отсутствие смазки;
- практически не требует технического обслуживания;
- мониторинг;
- регулируемые параметры работы (скорость вращения, нагрузка на подшипник, положение ротора).

Недостатки:

- сложность управления активными подвесами;
- необходимость использования страховочных подшипников;
- нагрев обмотки катушек;
- высокая стоимость.

Область применения:

- высокоскоростное машиностроение;
- альтернативная энергетика;
- медицинская техника;
- летательные аппараты и их составляющие.

Заключение

Взвесив положительные свойства и недостатки АМП, можно отметить следующее: применение активных магнитных подшипников в гиостабилизированных устройствах возможно, применив правильную схему магнитного подвеса с увеличением надежности электронной схемы и системы электропитания.

ЛИТЕРАТУРА

1. Журавлев Ю.Н. Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. – СПб.: Политехника, 2003. С. 3-33.
2. Стоцкая А.Д. Обзор способов практического применения активных магнитных подшипников/ Поляхов Н.Д., Стоцкая А.Д., //научное приборостроение -2012- том 22, №4. - С 5-18

УДК 62-1/9

А. Н. Носков

АО «Сарапульский радиозавод», Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

**ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ВОЗМОЖНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
КРУПНОГАБАРИТНЫХ ПОЛЫХ ИЗДЕЛИЙ (КЕЙСОВ) МЕТОДОМ РО-
ТАЦИОННОГО ЛИТЬЯ НА АО «СРЗ»**

Ротационное литье нашло широкое применение в производстве крупногабаритных изделий для всех отраслей промышленности, в том числе для нужд сельского хозяйства и приусадебных участков.

Ключевые слова: ротационное литьё, крупногабаритные полые изделия, кейсы.

A. N. Noskov

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

ESTIMATION OF TECHNOLOGICAL CAPABILITY FOR MANUFACTURING OF LARGE-SIZED HOLLOW PRODUCTS (CASES) AT JSC "SRZ" WITH THE USE OF ROTATIONAL CASTING

Rotational casting has become widely used in manufacturing of large-sized products for all branches of industry, including agriculture and smallholdings.

Keywords: rotational casting, large-sized hollow products, cases.

Введение

Под технологией получения крупногабаритных полых изделий для применения на АО «СРЗ» понимается изготовление пластиковых кейсов – контейнеров и контейнеров, используемых в качестве упаковки длительного хранения для изделий, выпускаемых АО «СРЗ». Упаковка в пластиковые кейсы – контейнеры характеризуется долговечностью (срок службы не менее десяти лет), удобством эксплуатации, удобством упаковывания и транспортирования, значительно меньше подвержена воздействию климатических факторов в отличие от деревянной тары, изготовленной в соответствии с требованиями ГОСТ 2991-85.

Полимерные материалы, применяемые для изготовления крупногабаритных деталей

Полимерные материалы, применяемые для изготовления пластиковых кейсов, должны обладать амортизационными и эластичными свойствами, выдерживать значительные механические нагрузки и обеспечивать длительный срок эксплуатации.

Исходя из перечисленных выше требований и примеров применения материалов предприятиями, специализирующимися на изготовлении кейсов - контейнеров, делаем вывод: для изготовления кейсов – контейнеров оптимально использовать следующие материалы:

- пластик АБС (сополимер акрилонитрила бутадиена и стирола);
- SB пластик (стирол - бутадион);
- полипропилен.

Учитывая специфику применения кейсов АО «СРЗ», оптимальными полимерными материалами будут являться пластик АБС и полипропилен.

Для изготовления крупногабаритных полых изделий из полимерных материалов наибольшее распространение получили методы ротационного формования.

Ротационное формование

Метод ротационного формования можно отнести к ресурсосберегающим технологиям. Этот метод служит для изготовления полых изделий технического применения. Технология переработки термопластов методом ротационного формования предусматривает проведение процесса в три этапа.

На первом этапе в форму загружается необходимое количество полимерного материала равного по массе получаемого изделия плюс ~ 5 % на компенсацию усадки.

На втором этапе в камере нагрева (либо непосредственно в форме) происходит нагрев материала, в результате чего происходит формообразование изделия при непрерывном вращении вокруг двух перпендикулярно ориентированных относительно друг друга осей. При вращении формы расплавленный материал образует однородный слой на внутренней поверхности.

На третьем этапе происходит охлаждение формы.

Ротационное формование позволяет:

- изготавливать полые изделия;
- изготавливать изделия сложной формы с возможностью изменения толщины стенки без изменения формы;

- устанавливать металлические или пластиковые закладные детали (втулки, кольца, штифты и т.п.);
- изготавливать одновременно несколько разных изделий;
- получать изделия без внутренних напряжений и без ориентации течения расплава полимера.

С точки зрения стоимости оборудования и оснастки, ротационное формование имеет наибольшее преимущество в сравнении с другими методами получения крупногабаритных изделий.

Описание оборудования для ротационного формования

Ротационное формование производится на установках непрерывного и ли периодического действия.

Неподвижная часть установки состоит из последовательно расположенных рабочих мест:

- стола, на котором осуществляется замыкание форм, их заполнение перерабатываемым материалом, а также размыкание форм и извлечение готовых изделий (иногда эти операции производятся на различных столах);
- туннельной печи с входными и выходными дверцами;
- охлаждающей камеры.

Подвижная часть установки для двухосного вращения форм состоит из карусели.

Карусель обычно оснащают тремя шпинделями. В трёх шпиндельных установках карусель поворачивается на 120°. При этом один шпиндель располагается над рабочим столом для извлечения готового изделия и заполнения формы материалом, другой находится в печи, а третий - в охлаждающей камере.

Формы нагревают в печи горячим воздухом, в открытом газовом пламени или ИК - излучением.

Охлаждающая камера должна быть оборудована форсунками, из которых на форму подается холодная вода. Иногда охлаждение формы осуществляют не в камере, а на оборудованной форсунками открытой площадке.

Формы изготавливают из литого алюминия или листов горячекатаной стали.

Алюминиевые формы оптимально использовать для производства изделий сложной конфигурации, а также для конструкций, имеющих линии разреза более чем в одной плоскости.

Сварные формы из листовой горячекатаной стали применяют для выпуска крупногабаритных изделий простой конфигурации с невысоким качеством поверхности или сопрягаемых поверхностей.

Для отработки технологии изготовления пластиковых кейсов на базе АО «СРЗ» необходимо следующее оборудование:

- установка для ротационного формования (рис. 1, рис. 2);
- форма для ротационного формования (материал формы - алюминий) с устройством нагрева формы до температуры плавления материала и контроллером для поддержания заданной температуры;
- ручной экструдер для пайки пластмасс;
- материал, для отработки технологии;
- два преобразователя частоты (для подбора частоты вращения шпинделей);
- помещение для размещения установки, оборудованное водопроводом и канализацией;

- фундамент, рассчитанный для оборудования с повышенной вибрацией и колебательными движениями;
- ограждение рабочей зоны.

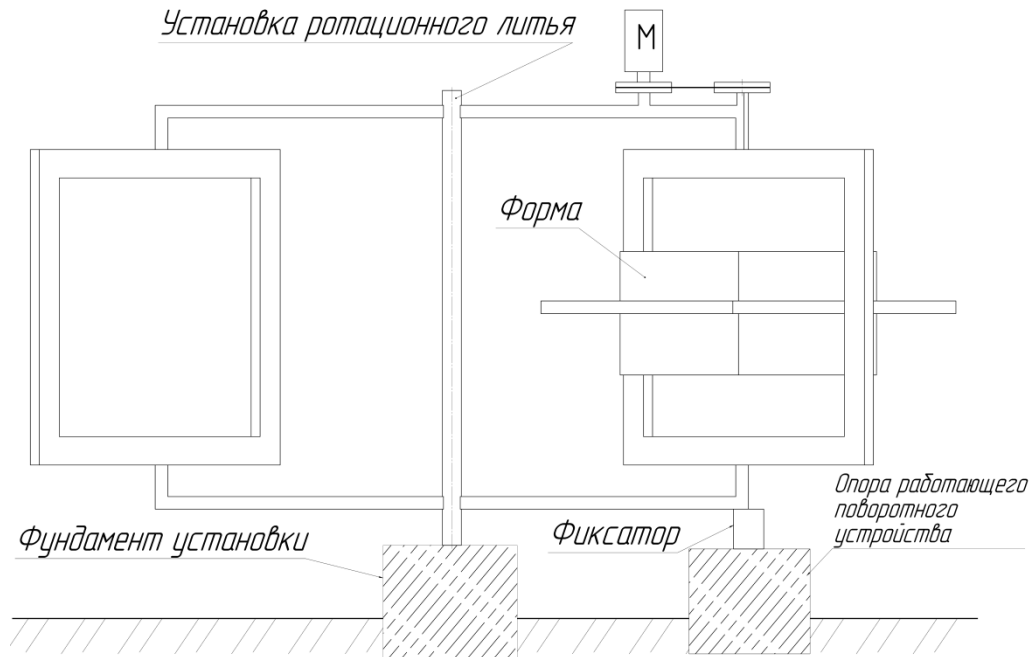


Рис. 1. Схематичное изображение установки ротационного формования

Заключение

При внедрении технологии ротационного формования на АО «СРЗ» будет возможность полностью обеспечить потребность в пластиковых кейсах - контейнерах, расширить номенклатуру производимых кейсов – контейнеров, а также при изучении спроса на рынке гражданской продукции возможность изготовления и реализации продукции гражданского назначения.

УДК 621.396.621.59

Д. Г. Мосунов

АО «Сарапульский радиозавод», г. Сарапул, Удмуртская Республика,
Российская Федерация

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИЕМНОГО ТРАКТА ДВУХКАНАЛЬНОГО РЕТРАНСЛЯТОРА РАДИОСИГНАЛОВ

Для организации радиосвязи в труднодоступных местах зачастую применяют ретрансляторы радиосигналов, которые в основном располагают на значительном удалении от подстилающей поверхности (земли). Устанавливают ретрансляторы также на беспилотных летательных аппаратах (БПЛА), что позволяет обеспечить большую зону покрытия обслуживаемых абонентов. Однако установка ретрансляторов на БПЛА накладывает ряд ограничений в основном по конструктивным и массогабаритным характеристикам, которые зачастую связаны с основными характеристиками ретрансляторов. В представленной работе исследуются методы повышения технических характеристик приемного тракта двухканального ретранслятора радиосигнала. Рассмотрены классические методы с применением быстрого преобразования Фурье, цифровой фильтрации и кросскорреляционной обработки спектров сигнала, а также предложены новые методы двойной кросскорреляционной обработки с применением вейвлет-преобразования.

Ключевые слова: чувствительности радиоприемных устройств, отношение сигнал/шум, коэффициент шума, кросскорреляционная обработка, вейвлет-преобразование.

D. G. Mosunov

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

METHODS OF INCREASING THE TECHNICAL CHARACTERISTICS OF RECEPTION TRACT OF THE TWO-CHANNEL RADIO SIGNAL REPEATER

To organize radio communication in hard-to-reach places, radio signal repeaters are often used, which are mainly located at a considerable distance from the underlying surface (earth). Repeaters can be also installed on unmanned aerial vehicles (hereinafter UAV). Installation on UAV allows providing a large coverage area for subscribers.

However, allocation of repeaters on UAV imposes a number of restrictions, mainly in terms of design and mass-dimensional characteristics, which are often associated with the basic specification of the repeaters. In the presented paper, methods of improving the technical characteristics of the receiving path of a two-channel radio signal repeater are investigated. Classical methods using fast Fourier transform, digital filtering and cross-correlation processing of signal spectra are considered. New methods of double cross-correlation processing using wavelet transform are also proposed.

Keywords: sensitivity of radio receivers, signal-to-noise ratio, noise figure, cross-correlation processing, wavelet transform.

Введение

Современные системы связи, а также устройства ретрансляции радиосигналов, характеризуются построением по технологии SDR[1-4]. Данная технология с помощью программного обеспечения позволяет изменять рабочие характеристики радиоприемного устройства, включая, в частности, параметры приемного тракта, диапазон частот, тип модуляции и т.д., реализовать множество режимов работы, добавлять программно в процессе эксплуатации новые функциональные возможности.

Общей чертой таких систем является:

- применение технологии OFDM. Основные достоинства которой заключаются в эффективном использовании спектрального диапазона, устойчивой работы в условиях узкополосной интерференции и многолучевого распространения сигнала;

- применение цифровых видов модуляции. В зависимости от типа выбранной модуляции полезная информация может заключаться как в амплитуде и фазе сигнала (для сигналов QAM), так и только в фазе сигнала (для сигналов PSK);

- использование сигналов с более широкой полосой, чем полоса спектра передаваемых сообщений, в несколько раз [5-9].

Среди основных характеристик приемных трактов, приемо-передающих устройств, входящих в состав ретрансляторов, можно выделить следующие: диапазон принимаемых частот, динамический диапазон, чувствительность, избирательность, помехоустойчивость, массогабаритные характеристик и т.д.

Одним из основных способов повышения качества связи является повышение характеристик приемных трактов, так, в частности, от уровня чувствительности зависят такие показатели, как: дальность радиосвязи и скрытность, помехоустойчивость и скорость передачи информации зависит от соотношения сигнал/шум.

Собственный шум радиоприемного тракта часто оказывается единственным фактором, ограничивающим уровень чувствительности приемника. Цифровые виды модуляции для организации достоверной передачи данных задают требования к коэффициенту битовых ошибок (BER), значение которого напрямую зависит от соотношения сигнал/шум при цифровой обработке сигнала. При увеличении скорости передачи информации требования к соотношению уровня сигнал/шум возрастают.

Во многих случаях для увеличения соотношения сигнал/шум прибегают к простым способам, таким как увеличение мощности сигнала. Однако, это неизбежно приводит к увеличению мощности источника питания, габаритных размеров и массы всей аппаратуры, что неприемлемо по условиям эксплуатации для ретрансляторов устанавливаемых на БПЛА.

Значительный вклад в теорию шума и его подавления (фильтрации) внесли отечественные и зарубежные ученые, такие как: А.А. Харкевич, Ю.С. Карпов, А. К. Нарышкин, А.С. Врачев, В.Н. Кулешов, Н.W. Ott, W.R. Bennett, M.J. Buckingham, S. Smit, E. Rubiola, F. Vernotte, V. Giordano и другие [10-13].

В связи с изложенным, учитывая интенсивное развитие и повышение требований к системам связи, исследование существующих и разработка новых методов подавления (снижения) шумовых составляющих в структуре сигнала позволит повысить характеристики приемных трактов, а также качество связи.

Анализ построения радиоприемных устройств по технологии SDR

Реализация радиоприемного устройства, выполненного по технологии SDR, предполагает прямую оцифровку принимаемого сигнала во всем диапазоне частот. Однако существующая компонентная база в настоящее время в полной мере не позволяет решить поставленную задачу. Поэтому используют компромиссные решения, которые с точки зрения частотного диапазона могут быть решены по структуре близкой к идеализированному радиосредству.

В настоящее время находит широкое применение построение радиоустройств по архитектуре с нулевой промежуточной частотой (рисунок 1), в которой осуществляется прямое квадратурное преобразование с радиочастоты на нулевую частоту, а вся дальнейшая обработка сигнала осуществляется программными методами.

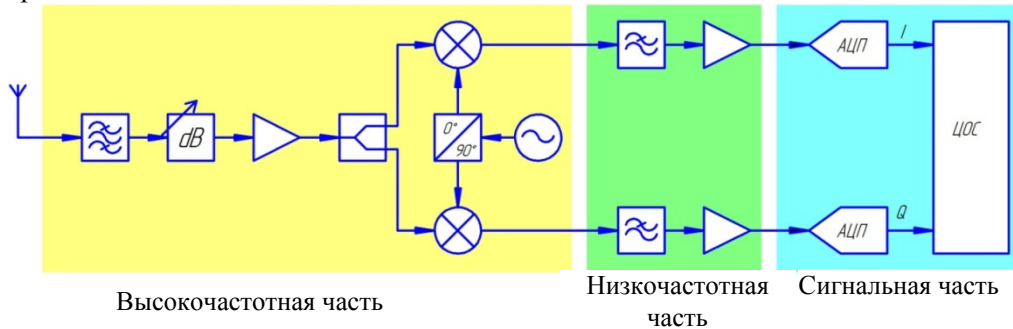


Рисунок 1. Архитектура радиоустройства с нулевой промежуточной частотой

Приемник включает в себя три основные части:

- высокочастотную, в которой высокочастотный сигнал через входные каскады поступает на цифровой квадратурный демодулятор, последний осуществляет перенос спектра сигнала на нулевую промежуточную частоту и формирование I/Q сигналов;
- низкочастотную, в которой производится фильтрация высокочастотных составляющих и усиление сигнала до необходимого уровня;
- сигнальную, в которой при помощи АЦП производится преобразование аналогового сигнала в цифровую форму с последующей его обработкой в блоке ЦОС.

Чувствительность радиоприемного устройства зависит от уровня шума в канале связи, уровня шума в приемном тракте, минимального отношения сигнал/шум, при котором обеспечивается прием информации с заданным коэффициентом ошибок (рисунок 2).

Величина уровня шума в канале связи складывается из условий распространения радиосигнала, дальности радиосвязи, наличием непреднамеренных помех от радиоэлектронных устройств.

Минимальное отношение сигнал/шум, при котором обеспечивается заданная чувствительность, зависит от вида применяемой цифровой модуляции, а также её порядка. При более высоком порядке сигнал содержит большее число уровней, которые располагаются ближе друг к другу, тем самым повышается вероятность их неразличимости.

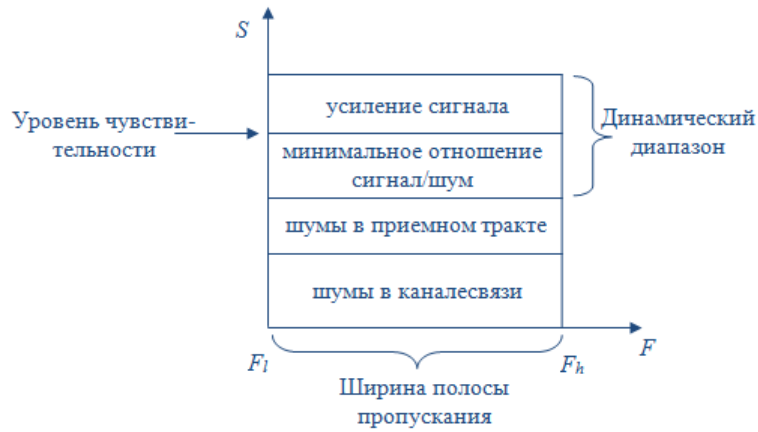


Рисунок 2. Диаграмма уровней мощности в приемном тракте

При наличии амплитудных и фазовых шумов в приемном тракте между квадратурными каналами возникают переходные помехи, в результате чего сигнальное созвездие размывается, что приводит к увеличению коэффициента битовых ошибок и ухудшению чувствительности и отношения сигнал/шум.

В ходе проведенных исследований радиоприемного устройства, выполненного по технологии SDR с нулевой промежуточной частотой, были определены основные критерии (характеристик), влияющие на чувствительность и отношение сигнал/шум:

- амплитудные шумы;
- фазовые шумы;
- ширина полосы сигнала;
- шумы АЦП;
- нарушение ортогональности квадратурных компонент сигнала;
- фазовое рассогласование.

В высокочастотной части приемного тракта преобладают:

- белый шум, который характеризуется равномерной спектральной плотностью;
- фазовый шум, вызванный фазовым рассогласованием и нестабильностью опорного генератора;
- нарушения ортогональности квадратурных компонент сигнала, вызванного рассогласованием фазового сдвига между опорными колебаниями.

В низкочастотной части приемного тракта преобладает розовый шум, характеризующийся спектральной плотностью, растущей по мере уменьшения частоты.

В сигнальной части преобладают шумы АЦП.

Шумы от некоррелированных источников в приемном тракте суммируются геометрически, т.е. как корень квадратный из суммы квадратов (1):

$$N = \sqrt{n_r^2 + n_d^2 + n_\phi^2 + n_{\text{ацп}}^2 + \dots + n_m^2} \quad (1)$$

Собственный шум радиоприемника может учитываться различными способами, обычно он выражается через коэффициент шума или шум-фактор.

С увеличением ширины спектра сигнала уровень собственных шумов приемника возрастает. Для повышения чувствительности радиоприемных устройств, а

также увеличения отношения сигнал/шум необходимо уменьшение шума в приемном тракте.

Методы повышения показателей основных характеристик

При разработке радиоприемных устройств применяют различные методы снижения уровня шумов в приемном тракте, включающие в себя как аппаратную реализацию, так и программную обработку сигналов.

При аппаратной реализации важную роль играет элементная база, на которой строится приемный тракт, вариант его построения. Современный уровень развития элементной базы в области активных элементов, таких как высокочастотные транзисторы и операционные усилители, идет по пути совершенствования технологии их изготовления, применению новых материалов, благодаря чему повышаются их характеристики, включая коэффициент шума. Очевидно, что для снижения собственных шумов приемного тракта необходимо применять элементную базу с минимальным значением коэффициента шума. Также немаловажную роль играет грамотное построение приемного тракта, при котором обеспечивается электромагнитная совместимость со всеми узлами устройства. Для защиты от помех и шумов дополнительно применяют элементы фильтрации.

Архитектура современных радиоприемных устройств, выполненных по технологии SDR, предполагает применение программных средств и технологий, а также дает возможность внесения изменений программным способом, позволяющих повысить их эксплуатационные характеристики и эффективность применения.

Снижение уровня шумовых составляющих в приемном тракте также возможно выполнить программным способом в процессе цифровой обработки сигналов (ЦОС).

Для снижения уровня шумов при ЦОС применяют методы цифровой фильтрации. Одной из важнейших задач фильтрации является обнаружение полезного сигнала на фоне мощной шумовой помехи.

В ходе исследования проведен анализ следующих цифровых фильтров:

- однородный фильтр;
- согласованный фильтр;
- фильтр Винера.

Однородный фильтр выполняет усреднение ряда последовательных отсчетов входного сигнала. Его импульсная характеристика имеет вид прямоугольной формы, амплитуда которой зависит от числа усредняемых отсчетов. Однородный фильтр находит широкое применение, поскольку он обеспечивает простоту реализации и минимальную длительность переходного процесса.

Работа согласованного фильтра основана на проведении корреляционного анализа путем выполнения свертки. Его импульсная характеристика должна в точности повторять зеркальную форму обрабатываемого сигнала. В ходе выполнения фильтрации производится сравнение каждого отсчета импульсной характеристики с определенным участком сигнала. Его применение позволяет получить максимальную амплитуду выходного сигнала при фиксированном уровне шума. Согласованный фильтр имеет основной недостаток - для его работы требуется заранее знать форму обрабатываемого сигнала, что ограничивает его применение в радиоприемном устройстве, поскольку форма сигнала постоянно изменяется в процессе проведения сеанса связи.

Фильтр Винера разделяет сигналы в соответствии с их спектральными характеристиками. Он пропускает частоты, где преобладает сигнал и выполняет подавление на тех частотах, где преобладает шум. Применение данного фильтра, по сравнению с описанными выше, позволяет получить максимальное отношение сигнал/шум. Фильтр является одним из самых сложных в части его реализации. Для нахождения весовых коэффициентов требуется применение специальной процедуры расчета фильтров. При отклонении от оптимальных параметров фильтра снижается эффективность его применения.

Проведенный анализ цифровых фильтров показал, что их применение позволяет понизить уровень шумовых составляющих в структуре сигнала, однако это может приводить к искажению формы сигнала (однородный и согласованный фильтр). Реализация фильтра Винера требует выполнения сложной процедуры расчетов, при этом весовые коэффициенты определяются для каждой конкретной задачи, что ограничивает его применение. Рассмотренные фильтры не позволяют проводить корректировку отдельных частотных параметров обрабатываемого сигнала.

Метод кросскорреляционной обработки спектров сигналов, полученных по результатам БПФ

В октябре 2018 г. зарубежными учеными Enrico Rubiola и François Vernotte в опубликованной работе «The cross-spectrum experimental method» [14] предложен метод кросскорреляционной обработки спектров сигналов полученных по результатам БПФ, который предполагает понижение уровня собственных шумов радиоприемных устройств. В настоящее время данный метод находит применения в средствах измерения, в частности в современных анализаторах спектра и фазовых шумах высокого класса.

Метод основан на двухканальной реализации приемного тракта (рисунок 3) с последующей кросскорреляционной обработкой сигналов и усреднения полученных характеристик.

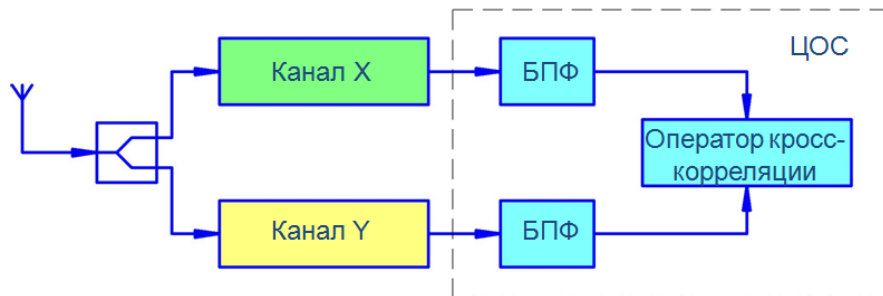


Рисунок 3. Двухканальная реализация приемного тракта

Каждый канал X, Y, изображенный на рисунке 3, представляет собой приемный тракт радиоприемного устройства, построенного по архитектуре с нулевой промежуточной частотой (рисунок 1). Сигнал с антенны через ВЧ делитель попадает на каждый канал (X, Y) приемного тракта. Затем из временной области по средствам БПФ производится представление сигнала в частотной области (2), (3).

$$x(t) = a(t) + c(t) \leftrightarrow X(f) = A(f) + C(f) \quad (2)$$

$$y(t) = b(t) + c(t) \leftrightarrow Y(f) = B(f) + C(f) \quad (3)$$

где, $x(t)$, $y(t)$ - сигналы на выходе каналов X и Y;
 $a(t)$, $b(t)$ - собственные шумы в каналах X и Y;
 $c(t)$ - сигнал на выходе ВЧ делителя;
 $X(f)$, $Y(f)$ - спектральная плотность сигналов $x(t)$, $y(t)$;
 $A(f)$, $B(f)$ - спектральная плотность шума в каналах X и Y;
 $C(f)$ - спектральная плотность сигнала на выходе ВЧ делителя.

Операция кросс-корреляции представляет собой произведение спектров (рисунок 4): канала Y на комплексно сопряженный спектр канала X (4).

$$S_{yx}(f) = Y(f) \cdot X^*(f) \quad (4)$$

где, $Y(f)$ - спектральная плотность сигнала в канале Y;
 $X^*(f)$ - комплексно сопряженный спектр сигнала в канале X;
 S_{xy} - кросс-спектральная плотность сигналов X, Y.

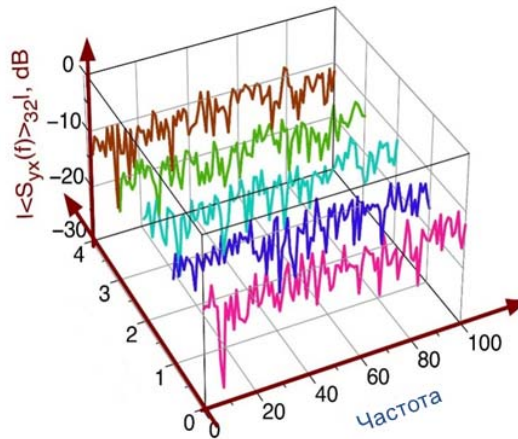


Рисунок 4. Последовательность спектров

Кросс - спектральная плотность показывает синхронное изменение мощности двух сигналов $x(t)$ и $y(t)$, соответствующее заданным частотам. Уровень мощности сигнала в каналах X и Y не изменяется, а уровень мощности собственных шумов каждого канала X и Y на соответствующих частотах имеет разную величину.

Операция кросс - корреляции в результате произведения спектров $Y(f)$ и $X^*(f)$ приводит к снижению уровня мощности шума в результирующем сигнале, а также выделение основного (полезного) сигнала.

Собственные шумы радиоприемного тракта уменьшаются пропорционально корню квадратному из числа циклов корреляций m (5).

$$N = N_{\text{вх}} + \frac{N_x + N_y}{\sqrt{m}} \quad (5)$$

где, $N_{\text{вх}}$ - шум на выходе ВЧ делителя;
 N_x - шум в канале X;
 N_y - шум в канале Y;
 m - число корреляций.

Предложенный метод предполагает дальнейшее усреднение кросс-спектров S_{yx} . Усредненная спектральная плотность мощности для m кор-

реляций между результатами БПФ первого канала X и второго канала Y выражается следующим образом:

$$\langle S_{yx} \rangle_m = \frac{1}{m} \left| \sum_{i=0}^{m-1} Y_i X_i^* \right| \quad (6)$$

где, $\langle S_{yx} \rangle_m$ - кросс-спектр сигналов X, Y для m корреляций;

m - количество усреднений кросс-спектров;

Y_i - спектр сигнала Y;

X_i^* - комплексно сопряженный спектр сигнала X.

Кросс-корреляция уменьшает вклад шума некоррелированных сигналов шума, т.е. шума приемного тракта, возникающего после входного ВЧ делителя.

Для оценки эффективности применения данного метода в программе Matlab был сформирован тестовый синусоидальный сигнал на частоте 10МГц с амплитудой 1мкВ. В сигнале также содержится аддитивный белый Гауссовский шум, уровень которого на порядок превосходит основной сигнал.

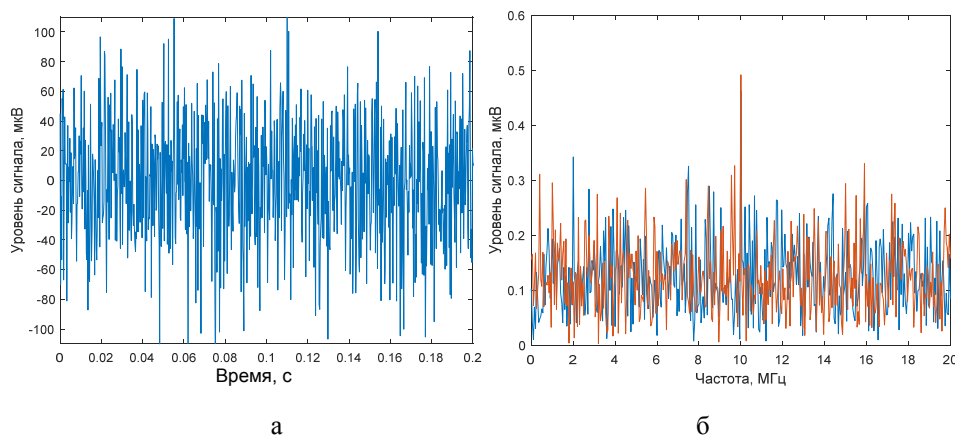


Рисунок 5. Графики тестового сигнала: а) во временной области; б) в частотной области

На рисунке 5а показан анализируемый сигнал, представленный во временной области. Он имеет вид случайного процесса, и его форма не дает для нас никакой информации. При переходе в частотную область представления сигнала по средствам БПФ (рисунок 5б) полученный спектр также носит случайный характер. Для выделения основного сигнала на уровне шума необходимо провести его обработку, которая может быть выполнена различными методами.

Для более детальной оценки метода и его сравнения с одним из методов цифровой фильтрации проведено моделирование с использованием однородного фильтра. Результаты представлены в таблице 1, спектр сигнала на рисунке 6а.

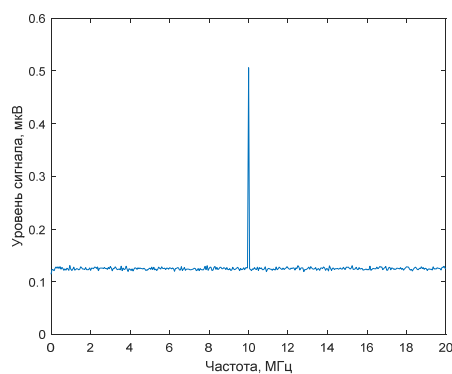
Таблица 1. Результаты применения однородного фильтра

№ п/п	Уровень сигнала		Уровень шума		Отношение сигнал/шум дБ	Кол-во операций усреднения
	мкВ	дБ	мкВ	дБ		
1	0,48	-6,38	0,27	-11,37	4,99	1
2	0,48	-6,38	0,18	-14,89	8,52	10
3	0,48	-6,38	0,15	-16,48	10,1	100
4	0,48	-6,38	0,13	-17,72	11,37	1000

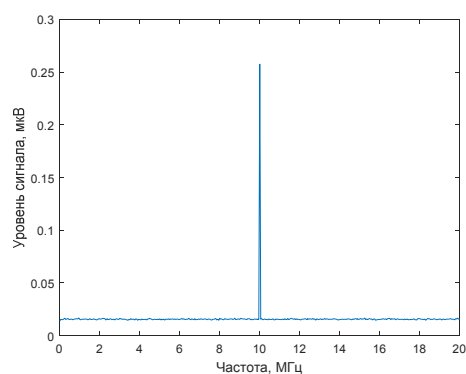
Результаты применения метода кросскорреляционной обработки спектров сигналов представлены в таблице 2, спектр сигнала на рисунке 6б.

Таблица 2. Результаты применения метода кросскорреляционной обработки спектров сигналов

№ п/п	Уровень сигнала		Уровень шума		Отношение сигнал/шум	Кол-во усреднений корреляций
	мкВ	дБ	мкВ	дБ		
1	0,48	-6,38	0,32	-9,90	3,52	без коррекции
2	0,25	-12	0,065	-23,7	11,7	0
3	0,24	-12,4	0,043	-27,3	14,9	1
4	0,26	-11,7	0,026	-31,7	20	10
5	0,26	-11,7	0,018	-34,9	23,2	100
6	0,26	-11,7	0,0165	-35,7	24	1000



а



б

Рисунок 6. Спектры сигналов по результатам: а) 1000 усреднений с применением однородного фильтра; б) 1000 усреднений кросс - спектров X, Y

Применение однородного фильтра позволяет снизить уровень шума и увеличить отношение сигнал/шум, которые зависят от числа выполняемых операций усреднения. Однако усреднение ряда отсчетов может привести к исчезновению отдельных спектральных составляющих, соответствующих спектру исходного сигнала.

Кроме того, однородный фильтр не позволяет существенно понизить уровень шума. При увеличении количества усреднений соотношение сигнал/шум возрастает, однако требуется определенное время для накопления большого числа спектров, что приводит к увеличению количества операций вычисления, снижению скорости передачи информации пропорционально количеству усреднений.

Метод кросскорреляционной обработки спектров сигналов позволяет снизить уровень шума в спектре сигнала. С ростом числа усреднений кросс - спектров уровень шума понижается. Следует отметить, что операция кросс - корреляции привела к уменьшению не только уровня шумов, но и основного сигнала, однако, при этом значительно увеличилось соотношение сигнал/шум.

Метод двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов полученных по результатам БПФ

Проведенные результаты исследования показали, что существенный вклад по снижению уровня шума обеспечивает операция кросскорреляционной обработки сигналов. Для повышения эффективности применения данной операции предложен метод двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов.

Метод предполагает проведение второй операции кросс - корреляции над кросс – спектрами, полученными ранее вместо операций усреднения.

$$S_{XY}(f) = S_{yx2}(f) \cdot S_{yx1}^*(f) \quad (7)$$

где, $S_{XY}(f)$ - двойной кросс-спектр сигналов X, Y;

$S_{yx1}(f)$ - кросс-спектр сигналов X, Y при первой реализации;

$S_{yx2}(f)$ - кросс-спектр сигналов X, Y при второй реализации.

Результаты применения метода двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов представлены в таблице 3, спектр сигнала на рисунке 7.

Таблица 3. Результаты применения метода двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов

№ п/п	Уровень сигнала		Уровень шума		Отношение сигнал/шум	Кол-во взаимных корреляций
	мкВ	дБ	мкВ	дБ	дБ	
1	0,51	-4,88	0,33	-9,63	4,75	0
2	0,31	-10,2	0,07	-23,1	12,9	1
3	0,09	-20,9	0,0016	-55,9	35	2

Применение двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов приводит к значительному уменьшению уровня шума, повышению соотношения сигнал/шум, однако, при данном методе наблюдается снижение уровня основного сигнала.

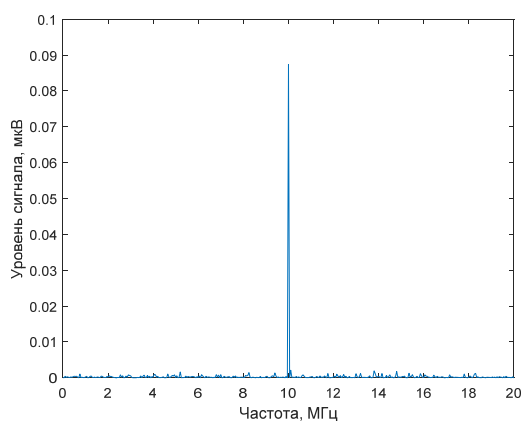


Рисунок 7. Спектр сигнала по результатам применения метода двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов

Из представленных выше методов наиболее оптимальным в части выделения сигнала на фоне шумов, снижения уровня шума, повышения отношения сигнал/шум является метод двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов. Так, по результатам применения одной операции кросскорреляционной обработки, уровень шума уменьшился в 4,71 раза при этом соотношение сигнал/шум увеличивается на 8,15 дБ. Применение второй операции кросскорреляционной обработки привело к уменьшению уровня шума в 206,25 раза, при этом соотношение сигнал/шум увеличивается на 30,25 дБ (значения приведены относительно результатов БПФ сигналов приведенных в таблице 3).

Следует отметить, что недостатком применения метода является снижение уровня основного сигнала, однако его можно компенсировать дополнительным усилением в приемном тракте.

Дискретное и комплексное вейвлет - преобразование

В настоящее время находит широкое применение вейвлет- преобразование для фильтрации зашумленных сигналов. Для оптимизации вычислительных затрат в основном используется дискретное вейвлет- преобразование. Дискретизация, выполняется через степени двойки:

$$a = 2^j, \quad b = k \cdot 2^j, \quad \Psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \frac{1}{\sqrt{2^j}} \Psi(2^{-j}t - k) \quad (8)$$

Где: j и k – целые числа;

$\Psi_{j,k}(t)$ - материнский вейвлет;

a - временной масштаб;

b - смещение сигнала по оси времени.

Прямое дискретное вейвлет- преобразование вычисляется с помощью выражения:

$$d_{j,k} = \left(S(t), \Psi_{j,k}(t) \right) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \Psi_{j,k}(t) dt \quad (9)$$

Совокупность вейвлет- коэффициентов $d_{j,k}$ образует спектр в виде плоскости, на которой размещается «сетка» из целочисленных координат j и k указывающих на скорость измерения сигнала и его положение вдоль оси времени.

Применение стандартного дискретного вейвлет- преобразования не позволяет получить информацию о фазовых характеристиках сигнала, которая необходима для выполнения фильтрации обрабатываемого сигнала, в части снижения фазового шума.

Учесть информацию о фазовых характеристиках сигнала при выполнении его фильтрации возможно при использовании комплексного вейвлет- преобразования, при котором применяются комплексные вейвлеты $\psi^c(t) = \psi^r(t) + j\psi^i(t)$. В ходе выполнения преобразования производится вычисление двух дискретных преобразований, в результате которых получают комплексные вейвлет- коэффициенты $d_{j,k}^c = d_{j,k}^r + jd_{j,k}^i$. Коэффициенты содержат действительную и мнимую части, что позволяет получить информацию о амплитудных (10) и фазовых (11) характеристиках сигнала.

$$A_{j,k}^c = \sqrt{\left(d_{j,k}^r\right)^2 + \left(jd_{j,k}^i\right)^2} \quad (10)$$

$$\varphi_{j,k}^c = \arctan\left(\frac{jd_{j,k}^i}{d_{j,k}^r}\right) \quad (11)$$

Применение обратного вейвлет- преобразования (12) позволяет восстановить сигнал по его вейвлет - коэффициентам.

$$s(t) = \sum_{m,k} d_{j,k} \Psi_{mk}(t) \quad (12)$$

Вейвлет- преобразование по сравнению с преобразованием Фурье имеет ряд преимуществ. Благодаря свойствам вейвлетов возможно локализованное устранение (подавление) помех (шумов) в обрабатываемом сигнале, при этом корректировку возможно выполнить на разных уровнях разложения. При выполнении вейвлет- преобразования не производится вычисление отрицательных частот как при преобразовании Фурье, вследствие чего амплитуда сигнала после преобразования остается неизменной. Вейвлет-преобразование вычисляется для каждой спектральной компоненты сигнала в зависимости от ее характеристик.

Фильтрация зашумленных сигналов с применением вейвлет - преобразования

Фильтрация зашумленных сигналов с применением вейвлет - преобразования включает в себя три этапа:

1. Выполнение прямого вейвлет- преобразования, при котором выбирается наиболее оптимальный тип вейвлет- функции, а также число уровней вейвлет-разложения.

По результатам проведенного исследования установлено:

- наиболее оптимальным вариантом является применение вейвлетов семейства Добеши [15], поскольку они обладают компактным носителем и их основе возможно выполнение быстрых алгоритмов преобразования, что позволяет снизить вычислительные затраты;

- число уровней разложения зависит от частоты и длительности обрабатываемого сигнала;

- наиболее подвержены влиянию шумов коэффициенты на малых масштабах.

2. Изменение (корректировка) полученных вейвлет - коэффициентов путем выполнения пороговой фильтрации.

При выполнении пороговой фильтрации вейвлет - коэффициенты умножаются на пороговую функцию. В основном применяется «мягкая» и «жесткая» пороговая функция. При этом важной задачей является выбор порогового уровня C , который должен проводиться с учетом уровня шума. Пороговый уровень C определяется следующим выражением:

$$C = \sigma \sqrt{2 \ln N}, \quad (13)$$

где, N – число вейвлет-коэффициентов ($N \geq 4$);

σ – среднеквадратичное отклонение шума.

Оценка среднеквадратичного отклонения шума σ выполняется в соответствии с выражением:

$$\sigma = \frac{M_x}{0,6745} \quad (14)$$

Где, M_x – определяется уровнем разложения вейвлет- коэффициентов на котором преобладает шум.

В результате проведенных исследований определен наиболее эффективный пороговый уровень - «мягкий»:

$$v(u) = \begin{cases} u - C, & u \geq C, \\ u + C, & u \leq -C, \\ 0, & |u| \leq C. \end{cases} \quad (15)$$

«Мягкий» пороговый уровень по сравнению с «жестким» вариантом обеспечивает снижение ошибок при восстановлении сигнала по результатам обратного вейвлет - преобразования на 8% меньше.

Пороговый уровень может задаваться фиксированной величиной (твердый вариант), либо предусматривать разные функции в зависимости от уровня разрешения (гибкий вариант). При гибком варианте возможно локализованное подавление шумовых составляющих.

3. Синтез сигнала путем выполнения обратного вейвлет - преобразования по скорректированным вейвлет - коэффициентам.

Метод комплексного вейвлет - преобразования с двойной кросскорреляционной обработкой вейвлет - коэффициентов

Учитывая вышеизложенные достоинства фильтрации сигналов с применением КВП, а также результаты полученные в ходе исследования метода двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов полученного по результатам БПФ, разработан метод комплексного вейвлет - преобразования с двойной кросскорреляционной обработкой вейвлет - коэффициентов (рисунок 8).

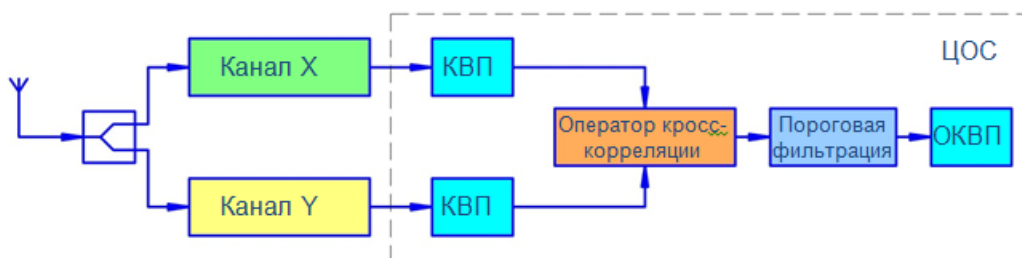


Рисунок 8. Комплексное вейвлет - преобразование с двойной кросскорреляционной обработкой вейвлет-коэффициентов при двухканальной реализации приемного тракта

В отличие от метода, описанного в предыдущем разделе, вместо БПФ применяется КВП. По сравнению с ДВП, КВП дополнительно позволяет оперировать с амплитудами и фазами вейвлет - коэффициентов, при этом сохраняя возможность быстрой реализации алгоритма ВП.

Операция кросс - корреляции представляет собой произведение вейвлет-коэффициентов канала Y на комплексно - сопряженные вейвлет - коэффициенты канала X:

$$D_{j,k}^{XYc} = d_{j,k}^{Yc} \cdot d_{j,k}^{Xc*} \quad (16)$$

где, $d_{j,k}^{Yc}$ - вейвлет- коэффициенты в канале Y;

$d_{j,k}^{Xc*}$ - комплексно сопряженные вейвлет- коэффициенты в канале X;
 $D_{j,k}^{XYc}$ - кросс-корреляции вейвлет- коэффициентов в каналах X, Y.

Метод предполагает проведение второй операции кросс - корреляции над вейвлет – коэффициентами, полученными ранее:

$$D_{j,k}^{dc} = D_{j,k}^{XY2c} \cdot D_{j,k}^{XY1c*} \quad (17)$$

где, $D_{j,k}^{dc}$ - двойная кросс- корреляция вейвлет - коэффициентов в каналах X, Y;

$D_{j,k}^{XY1c}$ - кросс-корреляции вейвлет - коэффициентов в каналах X, Y при первой реализации;

$D_{j,k}^{XY2c}$ - кросс-корреляции вейвлет - коэффициентов в каналах X, Y при второй реализации.

Для оценки эффективности предложенного метода проведено его моделирование в программе Matlab. При моделировании использовался аналогичный тестовый сигнал (рисунок 5). Вейвлет - преобразование выполнялось с применением вейвлета Добеши. При выполнении пороговой фильтрации применен «Мягкий» пороговый уровень. Результаты применения метода представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты применения метода

№ п/п	Уровень сигнала		Уровень шума		Отношение сигнал/шум	Кол-во взаимных корреляций
	мкВ	дБ	мкВ	дБ	дБ	
1	0,99	-0,01	0,57	-4,73	4,55	0
2	0,69	-3,22	0,14	-17,1	13,88	1
3	0,23	-12,8	0,003	-50,5	37,7	2

Проведенные исследования показали, что по эффективности применения в части таких показателей как отношение сигнал/шум данный метод, в результате применения пороговой фильтрации, по сравнению с методом двойной кросс-корреляционной обработки спектров сигналов полученного по результатам БПФ, позволяет получить результаты на 1-3дБ лучше, при этом уровень сигнала в два раза выше. По сравнению с методами фильтрации, которые используют преобразование Фурье, предложенный метод имеет важное преимущество в части возможности изменения параметров фильтрации в зависимости от локализованных особенностей сигналов.

Заключение

Проведенные исследования показали, что в настоящее время современные радиоприемные устройства строятся по технологии SDR, которая позволяет реализовать множество режимов работы, большое количество форм сигналов и их обработку программным способом. Организация радиосвязи предполагает применение технологии OFDM и цифровых видов модуляции, которые задают требования к ширине полосы сигнала, передаваемого в эфире. В основном данные сигналы являются широкополосными, поскольку их ширина намного больше (в десятки - сотни раз), чем полоса спектра передаваемых сообщений.

В системах беспроводной связи широко применяется квадратурная амплитудная модуляция (QAM) при которой одновременно изменяются два параметра

- амплитуда и фаза несущего колебания. Достоинством данного вида модуляции является повышенная скорость передачи данных, которая зависит от количества точек, образующих сигнальное созвездие. При этом высокие значения номера QAM более требовательны к отношению сигнал/шум, которое зависит от вносимых приемным трактом шумов (амплитудных и фазовых).

Рассмотрены типы шумов, преобладающих в приемном тракте. Показано, что уровень собственных шумов, вносимых приемным трактом зависит от полосы частот принимаемого сигнала, значения частоты дискретизации относительно частоты входного сигнала, числа точек БПФ, нарушения ортогональности квадратурных компонент сигнала, фазового рассогласования.

Рассмотрены методы цифровой фильтрации сигналов. Проведенный анализ метода кросскорреляционной обработки спектров сигналов полученных по результатам БПФ показал, что он по сравнению с применением однородного фильтра обеспечивает лучшие характеристики: снижение уровня шума на 18 дБ и повышение отношения сигнал/шум на 12,6 дБ. Предложенный метод двойной кросскорреляционной обработки вместо большого числа усреднений повышает эффективности применения данного метода в части снижения уровня шума на 9 дБ, в части повышения отношения сигнал/шум на 20,2 дБ.

Проведенный анализ методов цифровой фильтрации сигнала с применением вейвлет - преобразования показал, что:

- среднеквадратичная ошибка фильтрации для КВП на 9% меньше, чем для ДВП;

- «мягкий» пороговый уровень по сравнению с «жестким» вариантом обеспечивает снижение ошибок при восстановлении сигнала по результатам обратного вейвлет - преобразования на 8% меньше;

- пороговый уровень может задаваться фиксированной величиной либо предусматривать разные функции в зависимости от уровня разрешения;

- наиболее оптимальным вариантом является применение вейвлетов семейства Добеши, поскольку они обладают компактным носителем и на их основе возможно выполнение быстрых алгоритмов преобразования, что позволяет снизить вычислительные затраты;

- число уровней разложения зависит от частоты обрабатываемого сигнала;

- наиболее подвержены влиянию шумов коэффициенты на малых масштабах.

Основываясь на проведенных исследованиях, разработан метод комплексного вейвлет - преобразования с двойной кросскорреляционной обработкой вейвлет - коэффициентов. Данный метод по сравнению с применением:

- однородного фильтра обеспечивает снижение шумовых составляющих в структуре сигнала и повышение чувствительности на 32 дБ;

- метода двойной кросскорреляционной обработки спектров сигналов полученных по результатам БПФ, обеспечивает увеличение отношения сигнал/шум на 1-3дБ;

- классических методов, имеет возможность изменения параметров фильтрации в зависимости от локализованных особенностей сигналов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Галкин В. А. Основы программно-конфигурируемого радио. - М.: Горячая линия - Телеком, 2015. - 372 с, ил.

2. Kenington P.B. RF and baseband techniques for Software Defined Radio / P.B. Kenington. – Artech House, 2005. – 337 с.
3. DeSimone M. Software-Defined Radio – An overview and tutorial / Mike DeSimone. – 2009. – 54 с.
4. Tuttlebee W. Software Defined Radio – Enabling technologies / Walter Tuttlebee. – John Wiley & Sons, 2002. – 428
5. Феер К. Беспроводная цифровая связь. Методы модуляции и расширения спектра. Пер. с англ. - М.: Радио и связь, 2000.
6. Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и приложения. – М.: Техносфера, 2007 - 488 с.
7. Кольцов Ю.В. Методы и средства анализа и формирования сверхширокополосных сигналов. Монография. – М.: Радиотехника, 2004 - 128 с.
8. Мазуров М.И. Системы широкополосной радиосвязи: учеб. Пособие для студ. вузов. - О.; Наука и техника, 2009 - 334 с.
9. Скляр Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение: Пер. с англ. - М.: Издательский дом "Вильямс", 2003. - 1104 с.
10. Харкевич А.А. Основы радиотехники. 3-е издание, стереотипное. — М.: Физматлит, 2007. — 512 с.
11. Карпов Ю.С. Низкочастотные шумы плоскостных транзисторов. Изв. ЛЭТИ. 1963. N51. С.32-44.
12. Нарышкин А.К., Врачев А.С. Теория низкочастотных шумов. —М: Энергия. 1972.С.56-67
13. Жолуд В., Кулешов В.Н. Шумы в полупроводниковых устройствах., М., Сов. Радио. 1977.С.124-135
14. Enrico Rubiola and Franc oisVernotte. The cross-spectrum experimental method, October 23, 2018.
15. Daubechies, I. Ten lectures on wavelets / I. Daubechies. – Philadelphia: S.I.A.M., 1992.

А. В. Молчанова

АО «Сарапульский радиозавод», г. Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

ВЛИЯНИЕ СРЕДСТВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОСНАЩЕНИЯ НА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ НЕСИММЕТРИЧНОЙ И НЕЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ

В данной статье рассмотрены роль и значение технологического оснащения при изготовлении деталей несимметричной и нецилиндрической формы. Рассмотрено влияние различных средств технологического оснащения на технико-экономические показатели изготовления таких деталей. В качестве примера приведена деталь нецилиндрической формы, которая изготавливается в серийном производстве. Приводятся расчеты, показывающие, как влияет применение средств технологического оснащения на технико-экономические показатели.

Ключевые слова: деталь, средства технологического оснащения, технико-экономические показатели.

Для цитирования: Молчанова А.В. Влияние средств технологического оснащения на технико-экономические показатели при изготовлении деталей несимметричной и нецилиндрической формы

A. V. Molchanova

JSC «Sarapulsky Radiazavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

IMPACT OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT ON TECHNICAL AND ECONOMIC INDICES IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF ASYMMETRIC AND NON-CYLINDRICAL COMPONENT PARTS

This article discusses a role and importance of technological equipment in the process of production of asymmetric and non-cylindrical component parts. The influence of various technological equipment on technical and economic indices of manufacturing such component parts is considered. As an example, mass-produced non-cylindrical part is presented. Calculations illustrating the impact of the applied technological equipment on technical and economic indices are also given.

Keywords: detail, asymmetric component part, technological equipment, technical and economic indices.

For citation: A.V. Molchanova. Influence of technological equipment on technical and economic indices in the process of production of asymmetric and non-cylindrical component parts.

Введение

От технологического процесса производства механической обработки требуется обеспечение возможности сокращения сроков его освоения и снижения производственных затрат при одновременном достижении высокой производительности, качества и надежности выпускаемых изделий.

Успешное решение данной проблемы в значительной степени определяется оснащенностью производства, причем выбор варианта оснащения в каждом конкретном случае должен учитывать не только техническую возможность выполнения запроектированных операций с соблюдением предъявляемых требований, но и технико-экономическую оптимальность [1].

Роль и значение технологического оснащения при изготовлении деталей несимметричной и нецилиндрической формы.

Средства технологического оснащения – это совокупность орудий производства, необходимых для осуществления технологического процесса.

Технологический процесс оснащается с целью обеспечения требуемой точности обрабатываемых деталей и повышения производительности труда.

Под оптимальной оснащенностью понимается такая оснащенность, при которой достигается максимальная эффективность производства изделия при обязательном получении требуемого количества продукции и заданного качества за установленный промежуток времени с учетом комплекса условий, связанных с технологическими и организационными возможностями производственных фондов и рабочей силы [2].

Для определения влияния средств технологического оснащения на технико-экономические показатели изготовления детали рассмотрим пример на базе детали ИТНЯ. 726442.004 Обойма.

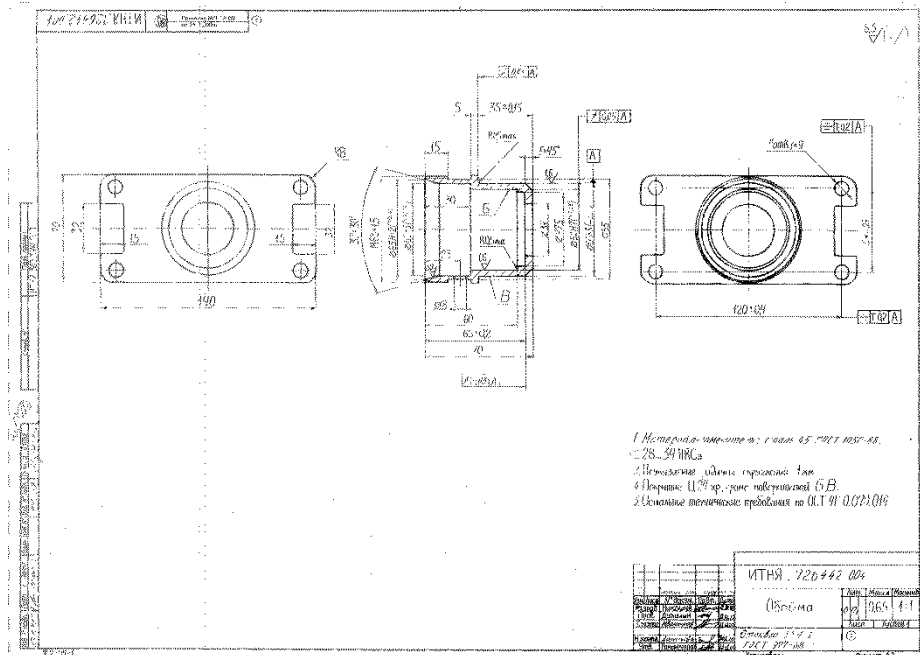


Рисунок 1. Чертеж детали ИТНЯ.726442.004

Анализируя конструкторскую документацию, можно сделать вывод, что для производства детали в качестве технологической оснастки будет применен токарный патрон и тисы.

Патроны токарные устанавливаются на универсальных и специальных станках и используются для крепления деталей на оси шпинделя. Благодаря их

применению достигается надежная фиксация и увеличивается зажимное усилие при большом крутящем моменте. Деталь не срывается, сохраняет правильное положение при работе, снижая риск поломки резца и обеспечивая высокую скорость изготовления изделия [3].

Токарные патроны по количеству кулачков подразделяют на:

- 3-х кулачковый самоцентрирующий патрон. Его применяют для крепления круглых и шестигранных заготовок, получил наибольшее распространение. Достоинства данного патрона быстрота центровки и зажима деталей, что особенно важно в мелкосерийном производстве, где смена заготовок происходит весьма часто [3];

- 4-х кулачковые патроны применяются для зажима заготовок некруглой и несимметричной формы, если возникла необходимость заточить круглую деталь вне центра или для расточки отверстий по разным осям. Кулачки четырехкулачкового патрона регулируются независимо и для обработки поверхности детали необходимо установить таким образом, чтобы ее ось совпала с осью шпинделя.

Патрон имеет кулачки, которые перемещаются независимо друг от друга, что обеспечивает ему широкие возможности [3];

Чтобы определить возможность обработки в 4-х кулачковом патроне необходимо рассчитать отношение длины заготовки и ее диаметра. Если полученный результат будет более 4 единиц, то возможность обработки отсутствует [3].

На токарных станках крепятся через промежуточный фланец или непосредственно на фланцевых концах шпинделя.

- 6-ти кулачковый самоцентрирующий патрон позволяет вести обработку тонкостенных деталей без их деформации. Захватывающие силы в шестикулачковом токарном патроне равномерно распределяются по 6 кулачкам [3].

Экономическая эффективность при использовании различных средств технологического оснащения

На АО «СРЗ» по действующей технологии изготовления детали применяется токарный 3-х кулачковый патрон.

В таблице 1 представлены технико-экономические показатели изготовления детали.

Таблица 1. ТЭП по действующей технологии

Наименование	Показатель
Материалы, руб.	1094,21
Возвратные отходы, руб.	253,84
ТЗР	14,01
Итого материальных затрат	854,38
Трудоемкость, н/час	6,340
Основная заработная плата, руб.	886,9
Дополнительная заработная плата, руб.	106,43
Страховые взносы на обязательное социальное страхование, руб.	303,96
Накладные расходы, руб.	798,21
Себестоимость продукции, руб.	2949,88
Прибыль	589,98
Цена без НДС на 2021 г, руб.	3684,99

Рассмотрим, как влияет изменение средства технологического оснащения на технико-экономические показатели.

Для этого разработаем новый процесс механической обработки с применением 4-х кулачкового патрона и представим их в таблице 2.

Таблица 2. ТЭП по спроектированной технологии

Наименование	Показатель
Материалы, руб.	492,75
Возвратные отходы, руб.	0
ТЗР	6,31
Итого материальных затрат	499,06
Трудоемкость, н/час	4,68
Основная заработная плата, руб.	654,69
Дополнительная заработная плата, руб.	78,56
Страховые взносы на обязательное социальное страхование, руб.	224,37
Накладные расходы, руб.	589,22
Себестоимость продукции, руб.	2045,9
Прибыль	409,18
Цена без НДС на 2021 г, руб.	2455,08

Произведем расчет снижения материальных затрат:

$$\Delta M = \frac{M_{\bar{o}} - M_n}{M_{\bar{o}}} \times 100, \quad (1)$$

$$\Delta M = \frac{854,38 - 499,06}{854,38} \times 100 = 41,6\%$$

Произведем расчет снижения трудоемкости изготовления детали:

$$\Delta T_p = \frac{T_{p_{\bar{o}}} - T_{p_n}}{T_{p_{\bar{o}}}} \times 100, \quad (2)$$

$$\Delta T_p = \frac{6,340 - 4,68}{6,340} \times 100 = 26,2\%$$

Произведем расчет снижения себестоимости продукции:

$$\Delta C = \frac{C_{\bar{o}} - C_n}{C_{\bar{o}}} \times 100, \quad (3)$$

$$\Delta C = \frac{2949,88 - 2045,9}{2949,88} \times 100 = 30,6\%$$

Возможность реализации на АО «СРЗ»

4-х кулачковый патрон является универсальным станочным приспособлением. На токарные станки крепятся через промежуточный фланец или непосредственно на фланцевых концах шпинделя. На АО «СРЗ» патрон может быть установлен на имеющиеся токарно-винторезный станок мод.1К62 или ИЖ250ИТВМ.01, но для реализации применения 4-х кулачкового патрона необходимо его приобретение для цехов основного производства.

Заключение

Главным критерием выбора средства технологического оснащения является конструкция детали.

При грамотном технологическом и экономическом обосновании выбора средства технологического оснащения возможно:

- снизить трудоемкость изготовления детали;
- снизить материалоемкость изготовления детали;
- уменьшить конечную стоимость изготавливаемой детали.

ЛИТЕРАТУРА

1. Васильев В.И., Ильященко Д.П., Павлов Н.В. Введение в основы сварки: учебное пособие //Юргинский технологический институт – Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2011. – 317 с.
2. Маталин А.А. Технология машиностроения: Учебник. 2-е изд., испр. СПб.: Изд-во «Лань», 2008.-512 с.:
3. Феррум [Электронный ресурс] // URL: <https://www.frrm.ru/articles/tokarnye-patrony/> (дата обращения: 10.04.2021).

УДК 621.7.075

Е. Я. Красноперов

АО «Сарапульский радиозавод» г. Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

ТЕМПЕРАТУРНО-ВАКУУМНАЯ ФОРМОВКА ЛИСТОВОГО ПЛАСТИКА.
ПЕРСПЕКТИВЫ ОСВОЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ НА АО «СРЗ»

Температурно-вакуумная формовка листового пластика широко применяется в легкой и пищевой промышленности, а также в других отраслях деятельности с целью изготовления деталей объемных и сложных форм. Сама технология предполагает использование специальных станков, в которые устанавливаются матрицы, а также заготовки из листового пластика, полиэтилена, ПВХ и других эластомеров. В представленной работе сравниваются два метода изготовления детали: компрессионное литье и температурно-вакуумная формовка. Выполнен расчет на более выгодную технологию для изготовления детали ИТНЯ.731241.004 «Корпус». А также выполнен подбор оборудования для реализации вакуумной формовки на АО «СРЗ».

Ключевые слова: температурно-вакуумная формовка, листовый пластик, технология, полимер.

E. Ya. Krasnoperov

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

TEMPERATURE-VACUUM FORMING OF SHEET PLASTIC. PROSPECTS FOR
THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGY AT JSC «SRZ»

Temperature-vacuum forming of sheet plastic is widely used in the consumer goods and food industry, as well as in other industries for the purpose of manufacturing of three-dimensional and intricate parts. The technology itself presupposes the use of special machines in which stencils matrices are installed, as well as blanks made of sheet plastic, polyethylene, PVC and other elastomers. In this paper, we compare two methods of manufacturing a component part: compression molding and temperature-vacuum molding. The calculation for profitable technology for manufacturing of the ИТНЯ.731241.004 «Housing» item es presented. Finally, the inventory of equipment for implementation of vacuum molding at JSC «SRZ» is defined.

Keywords: temperature-vacuum forming, sheet plastic, technology, polymer.

Введение

Температурно-вакуумная формовка листового пластика – это процесс создания деталей из полимеров на термовакуумном оборудовании при воздействии на материал высокой температуры совместно с образованием вакуума между листовым пластиком и мастер-моделью. [4] Использование таких деталей широко распространено в промышленной, строительной, транспортной и иных отраслях, поэтому метод температурно-вакуумной формовки с течением времени становится всё более востребованным. Устойчивым спросом на изготовление пользуются формы для: автомобильной промышленности (части машин больших размеров и механизмов); маркетинговой сферы (буквы для баннеров, рекламные вывески); области строительства (обшивочные и декоративные элементы, ограждающие конструкции, могильные элементы и материалы покрытия); пищевой отрасли (тары, ёмкости, короба); сферы досуга (игрушки, декоративные элементы интерьера).

Теоретический анализ и методика

Технология вакуумной формовки полимеров на термовакуумном механизме достаточно проста в исполнении, но требует умения обращаться с нагретым листовым полимером. Формирование пластиковых изделий происходит под влиянием температуры и давления.

Данная технология включает в себя ряд операций:

1. Мастер-модель закрепляется на формовочном столе термовакуумного оборудования на саморезы и прогревается.



Рисунок 1. Крепление оснастки

2. Листовой пластик загружается в специально предназначенный для этого металлический каркас-зажим и подвергается нагреванию галогеновыми лампами до термопластичного состояния.



Рисунок 2. Установка и нагрев листа

3. Нагретый до нужной температуры АБС-лист «провисает» в воздухе, после чего рамку с ним опускаем на рабочий стол и пристегиваем к нему – создаем герметичную камеру между пластиком и рабочим столом. Происходит плотное обжатие мастер-модели листовым пластиком. При откачивании воздуха между заготовкой и полимером важно отслеживать равномерность размещения полимера на мастер-моделях. При необходимости выполнить корректировку.



Рисунок 3. Формование и корректировка

4. С помощью вентилятора, водной эмульсии или естественным путем пластиковая форма остывает до пригодной для снятия температуры. Модуль охлаждения пластиковых форм – вентилятор.



Рисунок 4. Модуль охлаждения

5. В пространство между отформованным полимером и формуемыми моделями подается под давлением воздух – осуществляется пневморасформовка под давлением не более 6 атмосфер. Если дополнительный модуль не установлен, то съём осуществляется вручную – силовое поднятие рамки с закреплённым в ней формуемым листом.



Рисунок 5. Съем заготовки.

6. Производится обрезка лишнего пластика. Срез лишних частей пластика или разрезка пластика производится строительным ножом или любым другим острым инструментом. Делается надрез и далее надламывается пластик в месте надреза. Также можно использовать болгарку или фрезерный станок с ЧПУ. [3]



Рисунок 6. Отрезка.

Применяемые материалы и температурные режимы

Каждый полимер становится податливым и пластичным в своём температурном спектре, пригодном для формования термопластичных изделий. Ниже приведены оптимальные значения с возможностью отклонения на 15 °С в большую и в меньшую стороны. АБС-пластик – 150 °С; ПВХ-пластик – 140°С; полиэтилен – 135 °С; полипропилен – 160°С; оргстекло – 182,5°С; поликарбонат – 195°С [1].

Сравнительный анализ аналоговых технологий

Существуют иные способы формовки пластиковых полимеров, наиболее известными из которых являются ротационное литьё и компрессионная заливка.

Ротационное литьё происходит поэтапно: расплавленный пластик заливают в металлическую матрицу, после чего её помещают в печь и подвергают вращению. Недостаток данного метода обусловлен тем, что с помо-

щью ротационного литья неэффективно создавать пластиковые формы; намного рациональнее производить бытовые ёмкости больших размеров – например, пластиковые септики или канистры.

Метод компрессионного формования предполагает заливку пластика в заготовку и равномерное его распределение по всей внутренней поверхности матрицы при помощи пресса. К недостаткам данного способа литья относят дороговизну всего процесса, а также проблему съёма полимерных форм чрезмерной толщины [1].

Подбор оборудования

Вакуумно-формовочный станок ВФСВ-20х10-111 - (максимальная комплектация), габаритный размер (Д x Ш, мм): 3100х1800.

Производитель: ООО «ЗаводФорм»; цена: 785000 р.

Вакуумный формовочный станок ВФСВ-20х10-111 предназначен для формовки деталей и форм из АБС-пластиков, полиэтилена и других аналогичных материалов.

Технические характеристики:

- габаритные размеры станка: 3100х1800 мм (высота 3100 мм);
- размер формовочного стола: 2000х1000 мм;
- глубина формования: до 350 мм;
- потребляемое напряжение: 380 В;
- средняя мощность потребления: 20 кВт;
- максимальная мощность потребления: 30 кВт.

Установлены дополнительные модули:

- воздушное охлаждение - это модуль воздушного охлаждения формируемого пластикового листа;
- модули перемещения рабочего стола и нагревательного блока - установлено дополнительное оборудование для перемещения вверх и вниз рабочего стола и нагревательного блока;
- пневморасформовка - создание повышенного давления между формой и мастер-моделью для автоматического съема формы;
- автоматика - это комплект устройств, предназначенных для автоматического позиционного регулирования нагрева.

Вакуумно-формовочный станок ВФС-800-110 - габаритный размер (Д x Ш, мм): 2300х1400.

Производитель: ООО «ЗаводФорм».

Цена: 230000 р.

Страна производства: Россия.

Габаритные размеры станка: 2300х1400 мм (высота 2000 мм).

Размер формовочного стола: 920х810 мм.

Глубина формования: до 300 мм.

Максимальная мощность потребления: 20 кВт.

Производительность: до 20 формовок в час.

Установлены дополнительные модули: пневморасформовка и воздушное охлаждение. [2]

Результаты и их обсуждение

Экономический расчет. Произведем расчет цены детали ИТНЯ.731241.004, входящей в сборочную единицу ИТНЯ.464657.082 изделия «ЮТ25М». Потребность 8 штук.

В чертеже изделия ИТНЯ.731241.004 указан основной материал «Лист дилур 360-807 серый ТП 4 ТУ 2246-016-05762341-2005». Соответственно из данного материала деталь можно изготовить температурно-вакуумным формованием. Для этого понадобится следующая оснастка: мастер-модель трудоемкость изготовления - 30 часов, трудоемкость проектирования - 10 часов; приспособление для фрезерования, трудоемкость изготовления - 50 часов, трудоемкость проектирования - 10 часов.

В технических требованиях есть материал-заменитель: поликарбонат РС-007 ТУ2226-173-00203335-2007 литьевой материал. Детали из данного материала изготавливаются литьем под давлением. Для изготовления детали из данного материала понадобится следующая оснастка: форма литьевая (аналог МКСИ 0606-5264) трудоемкость изготовления - 700 часов, трудоемкость проектирования - 240 часов. Введем данные в таблицу 1 сравнение трудоемкости оснастки.

	Трудоемкость изготовления (н/ч)	Время проектирования (н/ч)	Итого (н/ч)
Форма литьевая (аналог МКСИ 0606-5264)	700	240	940
Оснастка для вакуумного формования	30+50=80	10+20=30	110

Таблица 1. Сравнение трудоемкости оснастки

Приравняем 1 н/час-500 рублей, тогда получаем:

$940 * 500 = 470000$ - стоимость формы литьевой;

$470000/8 = 58750$ рублей - стоимость оснастки на 1 деталь «Корпус» ИТНЯ.731241.004 литьем под давлением при объемах партии 8 шт.;

$110 * 500 = 55000$ рублей - стоимость оснастки для вакуумного формования;

$55000/8 = 6875$ рублей - стоимость оснастки на 1 деталь «Корпус» ИТНЯ.731241.004 вакуумным формованием при объемах партии 8 шт.

Заключение

Из всего вышесказанного следует, что термовакуумная формовка является наиболее эффективным способом изготовления равностенных пластиковых изделий типа форм для любых сфер во всевозможных промышленных отраслях при единичном и мелкосерийном производстве, в частности, и для изготовления детали ИТНЯ.731241.004.

ЛИТЕРАТУРА

1. <https://lobas.su/all/termo-vacuum-formovka/>
2. <https://lobas.su/all/vakuum-form-standok/>
3. <https://zen.yandex.ru/media/lobas/termovakuumnaia-formovka-plastika>
4. Минаев А.А., Ноткин Е.Б., Сазонов В.А. Вакуумная формовка М.: Машиностроение, 1984.

УДК 661.961

Н. А. Кардакова

АО «Сарапульский радиозавод», г. Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ В РОССИИ И В МИРЕ

Применение водорода как энергоносителя, взамен традиционной энергетики, предполагает решение проблем экологии, связанных с увеличением содержания в атмосфере CO₂ и потеплением климата. В статье рассмотрены способы получения водорода, методы его очистки, хранения и транспортировки, а также способ получения электроэнергии из водорода и дальнейшее ее применение. Развитие водородной энергетики требует вложений и поддержки на государственном уровне, разработки долгосрочных стратегий.

Ключевые слова: водород, энергоноситель, стратегия, развитие, возобновляемые источники энергии.

N. A. Kardakova

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

HYDROGEN ENERGY. DEVELOPMENT PROSPECTS IN RUSSIA AND IN THE WORLD

Use of hydrogen as an energy carrier instead of traditional energy involves solving of environmental problems associated with an increase of CO₂ content in the atmosphere and climate warming. The present paper concerns methods of hydrogen productions, as well as methods of its purification, storage and transportation. The method of generating electricity from hydrogen and its further application is also considered. The necessity of investment and support of hydrogen economy at the state level and development of long-term strategies in this field are stated.

Keywords: hydrogen, energy carrier, strategy, development, renewable energy sources.

Введение

Современный уровень развития промышленности и общества требует потребления всё больше энергии. Существующие источники в виде традиционных углеводородных энергоносителей пока еще обеспечивают возрастающие запросы потребителей, но они не бесконечны. Всё чаще взоры развитых стран обращаются в сторону возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Так возникла Концепция водородной энергетики, решающая такие проблемы как:

- экологические:

- сжигание углеводородных топлив ведет к увеличению содержания CO_2 в атмосфере и потеплению климата («парниковый эффект»);
- таяние ледников: повышение уровня моря, затопление регионов, изменение направления океанских течений;
- потепление тундры – заболачивание и выделение CH_4 ;
- повышение температуры – расширение пустынь, нехватка пресной воды, изменение плодородия почвы;
- социальные:
 - повышение заболеваний из-за вредных веществ;
 - законодательства по ограничению эмиссии CO_2 и других вредных веществ;
 - требование энергетической безопасности:
 - постоянное увеличение спроса на традиционное углеводородное сырье;
 - ограниченность запасов и рост цен на нефть и газ;
 - необходимость поиска альтернативных энергоносителей.

Водородная энергетика – энергетика с использованием водорода в качестве энергоносителя.

В основе производства энергии с использованием водорода лежит процесс преобразования химической энергии окисления водорода в электрическую.

Составные части водородной энергетики:

1. Производство водорода из воды с использованием невозобновляемых источников энергии (уголь, атомная энергия, термоядерная энергия) и возобновляемых источников энергии (солнце, ветер, энергия морских приливов, биомасса и т.д.).
2. Транспортировка и хранение водорода в крупных и мелких масштабах (увеличение безопасности и уменьшение стоимости).
3. Использование водорода в промышленности, на транспорте (наземном, воздушном, водном и подводном), в быту.
4. Проблемы надежности материалов и безопасности водородных энергетических систем.

Водород: свойства, получение, очистка, производство

Водород на Земле существует в связанном состоянии, в небольших количествах содержится в вулканических газах и ~ 0,0001% в атмосфере.

Водород входит в состав самого распространённого вещества на Земле – воды (11,19 мас.%), в состав нефти, природных газов, глин, углей, а также живых организмов.

В космосе водород самый распространённый элемент: составляет половину массы Солнца и звезд, входит в состав комет, газовых туманностей, в атмосферу некоторых планет. Ядерные реакции изотопов водорода на Солнце обеспечивают существование живой природы на Земле.

Водород – легчайшее из всех известных веществ (в 14,4 раза легче воздуха), плотность 0,0899 г/л при 0°C и атмосферном давлении.

При обычных условиях водород малоактивен и реагирует лишь с фтором.

Реакции водорода экзотермичны, поэтому реакционные смеси быстро разогреваются, что ускоряет реакции вплоть до горения материала или взрыва. Взрыву способствует цепной механизм большинства реакций в газовой фазе с водородом.

Применение водорода как энергоносителя имеет свои преимущества и недостатки. Рассмотрим некоторые из них.

Преимущества:

- неограниченные (возобновляемые) запасы сырья (основной источник – вода);
- отношение энергия/масса в 3 раза выше, чем у бензина;
- Простота конверсии энергии (химическая ↔ электрохимическая ↔ механическая);
- экологическая безопасность (продукт окисления – вода).

Недостатки:

- водород не является ископаемым сырьем (доля свободного водорода на Земле – 10 - 5%, остальное – в виде соединений);
- водород надо произвести, затратив энергию (водород – только энергоноситель или аккумулятор энергии).

Основные источники и методы получения водорода.

Классические методы.

– Вода: метод электролиза, термохимические циклы. В результате имеем электрическую и тепловую энергию, производимую на АЭС, возобновляемыми источниками энергии.

– Ископаемое топливо (газ, нефть, уголь). Метод получения – конверсия. Результат – тепловая энергия, полученная в высокотемпературных реакторах.

– Биомасса, биоэтанол. Метод получения – конверсия. Результат – тепловая энергия, полученная в высокотемпературных реакторах.

Новые разработки.

– Термическое разложение метана и/или природного газа каталитическими или плазмохимическими методами: $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2 \text{H}_2$

– Термическое разложение воды при использовании тепла ($T \sim 800^\circ\text{C}$) ядерных реакторов или гелиоустановок в качестве первичного источника энергии.

– Фотокаталитическое расщепление воды на полупроводниковых материалах (смешанные оксиды, сульфиды и селениды, нитриды и оксинитриды).

– Биохимическое разложение воды (фотосинтез) с помощью специально выращенных водорослей и микроорганизмов.

– Гидролиз металлов и сплавов на основе Al, Mg, Si, Fe и т.д.

По способу производства водород классифицируют на несколько видов:

– «зеленый» водород: безуглеродный метод – электролиз с использованием электроэнергии из возобновляемых источников энергии (ВИЭ);

– «желтый» водород: безуглеродный – электролиз с использованием электроэнергии из атомных электростанций (АЭС);

– «бирюзовый» водород: малоуглеродный – пиролиз метана (природного газа);

- «голубой» водород: среднеуглеродный – паровая конверсия метана или угля с утилизацией CO₂ (CCS);

- «серый» водород: высокоуглеродный – паровая конверсия метана;

- «бурый» водород: высокоуглеродный – газификация или паровая конверсия угля.

При производстве водорода существуют проблемы и задачи, влияющие на увеличение стоимости конечного продукта и которые важно решить:

- уменьшение стоимости «зеленого» водорода;

- увеличение срока службы электролизеров;

- разработка новых «экологически чистых» методов производства H₂;

- утилизация CO₂ при производстве H₂ из углеводородов и биомассы;

- уменьшение стоимости разделения и очистки H₂;

- обеспечение безопасности при производстве водорода;

- разработка методов компактного и безопасного хранения и транспортировки водорода;

- создание новых конструкционных материалов для водородной инфраструктуры.

При производстве водород выделяется в составе с примесными газами: CO₂, CO, CH₄, NO_x и т.п., поэтому одна из важнейших задач – очистка водорода от примесей.

Очистка – удаление примесей с содержанием менее 1000 ppm.

Выделение (разделение) – извлечение водорода из газовых смесей с содержанием 1–90% сопутствующих газов.

На сегодня разработаны основные методы очистки и выделения водорода:

- парциальная конденсация;

- адсорбционные методы;

- абсорбционные методы;

- мембранное разделение;

- разделение с использованием металлогидридов.

Хранение и транспортировка водорода – это ключевая проблема. Проанализируем достоинства и недостатки методов хранения водорода в разных агрегатных состояниях.

Сжатый водород

Достоинства: высокая емкость, легко регулируемый поток, отработанные инженерные решения.

Недостатки: проблемы безопасности (H₂+ высокое давление (ВД)).

Применение: автомобильный транспорт.

Жидкий водород

Достоинства: высокие объемная и гравиметрическая емкости.

Недостатки: большие энергозатраты, потери при хранении, сложная инфраструктура.

Применение: космос.

Адсорбированный водород

Достоинства: высокая гравиметрическая емкость, низкие энергозатраты, высокая скорость поглощения и выделения.

Недостатки: низкая объемная плотность, низкие температуры, сорбция примесей.

Химически связанный водород

Достоинства: компактность, безопасность, высокая емкость, низкие энергозатраты, высокая скорость поглощения и выделения.

Недостатки: проблемы теплообмена и теплопереноса, тепловой эффект реакций, чувствительность к примесным газам [1].

Технологии производства энергии из водорода

Двигатели внутреннего сгорания:

- преобразование химической энергии в тепловую;
- эффективность больше, чем у бензиновых двигателей;
- меньшее количество выбросов NO_x по сравнению с бензиновым двигателем;
- потеря мощности из-за более низкого содержания топливной смеси;
- водородное охрупчивание металлических частей двигателей внутреннего сжигания.

Топливные элементы:

- преобразование химической энергии в электрическую;
- высокая объемная и массовая мощность;
- различные типы топливных элементов: рабочая температура зависит от природы электролитов;
- высокий коэффициент полезного действия (особенно при низкой нагрузке);
- полное отсутствие вредных выбросов.

Водородная энергетика нашла применение в системах аккумулирования энергии, обеспечении энергией жилья, питания бытовой и электронной техники, для транспорта: автомобили, электрокары, автобусы, водный и воздушный транспорт.

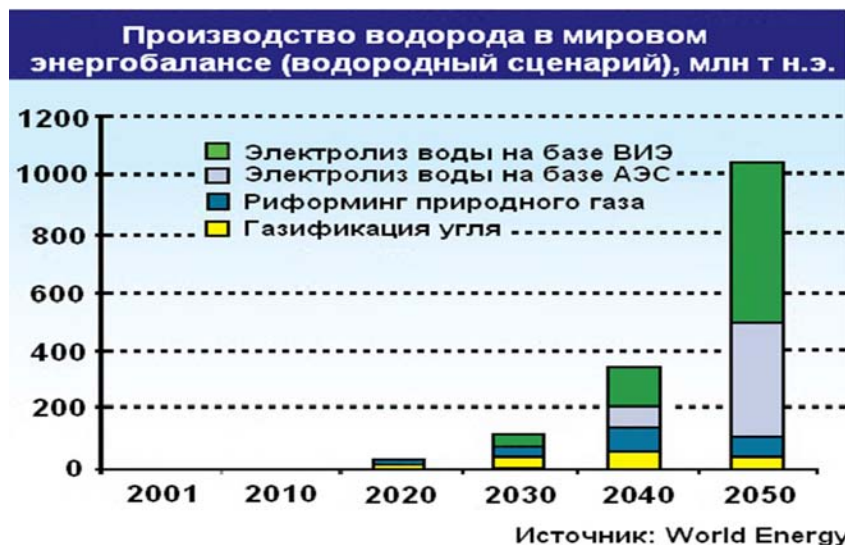


Рисунок 1. Анализ методов получения водорода

Мировая экономика. История и перспективы развития

9 мая 1992 года. Принятие рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Она вступила в силу в 1994 году и была ратифицирована 197 сторонами (196 государств и Европейский союз). Ее целью является стабилизация антропогенных выбросов парниковых газов в атмосферу до уровня, не допускающего их опасного воздействия на климат.

В 2016 году подписано Парижское соглашение, цель которого - противодействие глобальному потеплению, основной причиной которого считаются выбросы парниковых газов. В свою очередь, главным виновником антропогенных выбросов объявлена энергетика на органическом топливе. При выполнении требований Парижского соглашения структура мировой энергетики в ближайшие десятилетия должна претерпеть радикальные изменения в результате вытеснения угля и замещения его газом и безуглеродными источниками [2]. Соглашение подписало 195 стран и ЕС.

За последние 15-20 лет мировой рынок водорода вырос с 40 миллионов до 12 миллиардов долларов США. По прогнозам Bank of America отрасль водородного топлива скоро выйдет на рынок стоимостью 11 триллионов долларов. Ключевые страны-игроки этого рынка: Канада, США, Китай, ЕС, Япония, Корея [8].

Крупнейшим мировым рынком водорода собирается стать Евросоюз, который к 2050 году намерен инвестировать от 180 миллиардов до 470 миллиардов евро в сегмент возобновляемого водорода [2].

В мире создано уже 23 международных консорциума водородной тематики. В Германии, Нидерландах, Японии появились «Водородные долины».

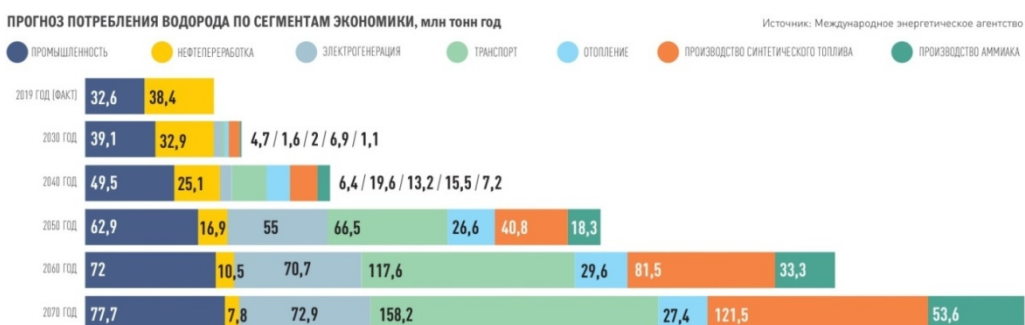


Рисунок 2. Прогноз потребления водорода по секторам экономики

Каждая страна разрабатывает собственную стратегию развития на ближайшие 30 лет. Рассмотрим некоторые из них.

Европейская водородная стратегия

«Водородная стратегия для климатически-нейтральной Европы».

Принято: водород – наиболее экологический и эффективный энергоноситель, особенно для ВИЭ.

Приоритетное направление – разработка возобновляемого водорода (renewable hydrogen), производимого с использованием ВИЭ.

В 2024 должны быть установлены как минимум 6 ГВт электролизёров для производства 1 миллиона тонн водорода.

Инвестиции к 2050 году: в возобновляемый водород – 180-470 млрд. евро, а в низкоуглеродный – 3-18 млрд. евро.

Евросоюз к 2030 году установит 40 ГВт электролизёров на своей территории и 40 ГВт в соседних странах для экспорта водорода (по 10 млн. тонн возобновляемого водорода).

В 2020 году стоимость водорода из газа составляет около 1,5 евро/кг, с учетом затрат на улавливание и хранение CO₂ – 2 евро/кг, а возобновляемого водорода – 2,5-5,5 евро/кг. Стоимость возобновляемого водорода быстро снижается: за последние десять лет стоимость электролизеров сократились на 60%, ожидается, что в 2030 году она сократится вдвое.

Странами ЕС создан Европейский альянс чистого водорода (European Clean Hydrogen Alliance) для «формирования потока инвестиций для наращивания производства» и поддержки спроса на чистый водород. Решаются вопросы импорта водорода: для снижения валютных рисков европейских компаний «важно содействовать развитию структурированного международного рынка водорода в евро. В сфере международного сотрудничества цель: укрепление лидерства в области возобновляемой электроэнергии и по установлению стандартов. ЕС должен быть лидером по технологии в области водородной энергетики. ЕС должен создать в водородном секторе Европы до 1 млн рабочих мест [1].

Германская водородная стратегия «Nationale Wasserstoffstrategie». Основные положения.

- Германия должна стать лидером в водородных технологиях.
- Водород – ключ для нового энергетического скачка.
- Водород – основа декарбонизации сталелитейной и химической промышленности, транспортного сектора.
- Водородные технологии – должны стать ключевым экспортным товаром.

1. Приоритет – водород из возобновляемых источников энергии («зеленый» водород). Задача – поддержать быстрое увеличение его рынка и создать соответствующие производственно-сбытовые цепочки.

2. В краткосрочной перспективе – можно использовать CO₂-нейтральный водород: «синий» водород — водород из природного газа с улавливанием CO₂; «бирюзовый» водород — водород пиролизом метана.

3. Необходим эффект масштаба использования водорода. Задача: быстрое наращивание объемов, обеспечение необходимой массы водорода для замены топлива в секторах, где водород «близок к рентабельности».

4. Залог успеха – сильный внутренний рынок: производство и использование водорода на внутреннем рынке, что создаёт задел для их экспорта.

5. Потребность ФРГ в водороде: 90–110 ТВт·ч к 2030 году: должны быть построены электролизёры с ВИЭ общей мощностью до 5 ГВт для выработки 14 ТВт·ч экологически чистого водорода; к 2035 году дополнительно должны быть построены электролизёры на 5 ГВт.

6. Импорт водорода: в основном «зеленого» – из ЕС (в районе Северного и Балтийского морей и в южной Европе).

7. Германия должна быть лидером создания мирового рынка водорода. Диверсификация источников сырья и транспортных маршрутов – вопрос энергетической безопасности.

8. Четкий план мероприятий по реализации Стратегии: 38 пунктов по направлениям: производство водорода, области применения (транспорт, промыш-

ленность, теплоснабжение, инфраструктура/снабжение, исследования, образование и инновации, европейское сотрудничество, международный рынок водорода и внешнеэкономические партнёрства).

9. Дополнительное финансирование: 7 млрд. евро на запуск рынка водородных технологий в Германии и 2 млрд. евро для развития международных партнёрских отношений.

10. Управление: «Комитет по водороду» из высших чиновников ряда министерств, Национальный совет по водороду [1].

Итальянская водородная стратегия провозглашает:

Водород – источник экологически чистой энергии будущего, способный ускорить процесс декарбонизации,

Цель – стать средиземноморским центром по производству, транспортировке и хранению зеленого водорода.

Цель достигается в два этапа:

– до 2030 года: производство и использование водорода на местном уровне, железнодорожный транспорт (замена дизельных поездов). Мощность электролизеров до 5 ГВт. Водородные энергоустановки на сегодня составляют – 2% всей потребляемой энергии.

– до 2050 года: коммерческое использование водорода в различных секторах промышленности и транспорта. Доля водородных электроустановок – 20%.

Инвестиции:

– от 2 до 3 млрд. евро в инфраструктуру водорода, железнодорожный и автомобильный грузовой транспорт,

– от 5 до 8 млрд. евро в производство водорода,

– 1 миллиард евро в исследования и разработки [1].

Стратегия развития водородной энергетики в Японии.

Япония практически самая первая страна, которая активно внедряет водородные технологии. В 2014 году в стране принята дорожная карта по построению "общества, базирующегося на водороде". Уже сейчас в этой стране насчитывается около 2,5 тысячи автомобилей с водородным двигателем. Однако в стране не хватает сырьевых ресурсов для производства водорода. Ориентация на привозной водород или сырье из России, Китая и Брунея.

Предлагаемые способы транспортировки водорода:

– в сжиженном состоянии,

– в виде жидких органических гидридов,

– в виде аммиака.

Пилотные проекты планируется запустить в ближайшее время [3].

Россия. История и перспективы развития

Постепенно словосочетание «Водородная энергетика» всё чаще звучит не только из новостей зарубежных стран, но и из новостей российской прессы, освещающей экономическую ситуацию в стране. Это связано с попытками правительства России уменьшить количество углерода в промышленности, положительно повлиять на климат, уменьшая количество выброса CO₂ в атмосферу, соответствуя последним тенденциям в мире.

2015 год. Россия подписала рамочную конвенцию ООН, предполагающую кратное сокращение выбросов углерода при производстве электроэнергии на ближайшее десятилетие.

2017 год. Минэнерго РФ сформулировало концепцию развития рынка систем хранения электроэнергии в России. В ней представлены приоритеты и ключевые меры для создания в России отрасли систем хранения электроэнергии.

Основными сценариями развития этого нового для России рынка в концепции названы:

- «Интернет энергии» – использование систем хранения электроэнергии в составе распределительной энергетики;

- «Новая генеральная схема» – использование систем хранения электроэнергии в составе крупной централизованной энергетики;

- «Водородная энергетика» – использование систем хранения электроэнергии в водородном цикле для энергетики с высокими требованиями по автономности, мобильности и экологичности [4]

2019 г. Минэнерго РФ приняло решение о разработке совместно с заинтересованными госорганами и отраслевыми организациями плана мероприятий (дорожной карты) развития водородной энергетики РФ [4].

Распоряжением Правительства Российской Федерации от 9 июня 2020 года № 1523-р утверждена энергетическая стратегия Российской Федерации до 2035 года.

23 июля 2020 год. Минэнерго РФ разработало и внесло в правительство проект плана мероприятий по развитию водородной энергетики на 2020-2024 гг.

Перспективными задачами водородной энергетики в России является развитие производства и потребления водорода, а также выход на экспортные международные рынки. Российский ТЭК обладает необходимым потенциалом для решения данных задач [4].

12 октября 2020 года. Правительство утвердило план по развитию водородной энергетики до 2024 года (дорожную карту). В рамках нового плана предусмотрено создание органов управления и координации, разработка концепции развития водородной энергетики.

Мероприятия, в рамках поддержки водородной энергетики в РФ до 2024 г, вошедшие в план:

- разработка мер по господдержке развития водородной энергетики,

- подготовка предложений по внесению изменений в соответствующие государственные программы в части стимулирования использования водородных технологий в различных секторах экономики,

- разработка мер поддержки по реализации приоритетных пилотных проектов в области производства энергетического водорода, в т. ч. и по созданию опытно-промышленных установок,

- разработка мер государственной поддержки экспорта энергетического водорода,

- создание кластеров и полигонов в целях апробации и комплексного внедрения технологий водородной энергетики,

- разработка порядка отбора приоритетных пилотных проектов в области водородной энергетики [4].

15 ноября 2020 года. В России создали консорциум «Технологическая водородная долина». Научные учреждения, вошедшие в консорциум, будут вместе работать над водородными технологиями.

В консорциум вошли 6 научных учреждений РФ.

Они будут вести совместные разработки технологий по всей «водородной цепочке»: от технологий его получения до использования.

В объединение вошли:

- Томский политехнический университет;
- Институт катализа СО РАН;
- Институт проблем химической физики РАН;
- Институт нефтехимического синтеза РАН;
- Самарский государственный технический университет;
- Сахалинский государственный университет.

Консорциум получил название «Технологическая водородная долина».

Консорциум намерен тесно сотрудничать с крупнейшими компаниями России, заинтересованными в развитии водородной энергетики, такими как «Газпром», «Газпромнефть», «СИБУР», «РЖД», «Северсталь», «Росатом», «НОВАТЭК» [4].

16 февраля 2021 год. Минпромторг планирует включить водород в приоритетные для специнвестконтрактов технологии и выражает надежду на сотрудничество с Германией, где развитию водородной энергетики уделяется большое внимание.

Тезисы министра Д. Мантурова:

- мы планируем включить технологии с использованием водорода в перечень приоритетных для заключения специальных инвестиционных контрактов;
- уверен, что это будет интересно для всех российских и немецких компаний, работающих по этому направлению;
- мы готовы к серьезной совместной работе в этом направлении, включая разработку и производство оборудования, а также реализацию инфраструктурных проектов по производству и хранению водорода, а также его транспортировке [4].

12 апреля 2021 года. Россия намерена занять 20% мирового рынка водорода к 2030 году. Об этом заявил заместитель министра энергетики РФ Павел Соколин. Он добавил, что к 2050 году страна хочет продавать в иностранные государства до 33,4 млн. т водорода при нынешнем показателе 7,9 млн. т. В целом зам. главы ведомства оценил потенциал России на рынке как очень высокий [5].

Несмотря на столь оптимистичные прогнозы надо понимать, что российская инфраструктура ориентирована на уголь и газ и производство водорода – побочный продукт переработки газа. Однако запасы углеводородов в стране имеются в достаточном количестве и для построения водородной инфраструктуры их хватит. Ученые, академики различных институтов консорциума до сих пор не имеют одинакового мнения о развитии водородной энергетики: у одних есть уверенность в развитии, другие полагают, что развитие будет, но не столь быстрыми темпами, как хотелось бы [2].

Первыми производителями водорода станут «Газпром» и «Росатом». Компании запустят пилотные водородные установки в 2024 году – на атомных электростанциях, объектах добычи газа и предприятиях по переработке сырья.

Задачей «Газпрома» на 2021 год является разработка и испытание газовой турбины на метано-водородном топливе, а также отработка возможностей по использованию водорода и метано-водородного топлива в газовых установках

(газотурбинных двигателях, газовых бойлерах и т.д.) и в качестве моторного топлива в разных видах транспорта до 2024года.

«Газпром» разрабатывает проекты по производству и транспортировке водорода в страны ЕС.

Для «Росатома» одна из целей – перевод поездов на водородные топливные элементы. Планируется построить опытный полигон для испытаний железнодорожного транспорта на водороде на Сахалине совместно с РЖД и «Трансмашхолдингом» в 2024году [6].

В планах «Росатома» строительство атомно-водородных комплексов на основе АЭС по производству водорода методом электролиза во время снижения потребления электроэнергии.

Инженеры «КАМАЗа» приступят к разработке водородного грузового автомобиля и водородного автобуса в 2021 году [7].

Заключение

Сегодня в мире царит «водородный бум», в водородную энергетику вкладываются миллионы евро, развиваются технологии производства водорода и его переработки в электроэнергию, разрабатываются новые материалы, способы очистки и хранения. Постепенно происходит отказ от углеводородов не только на транспорте, но и в промышленности.

Наиболее перспективным способом получения водорода считается электролиз воды и газификация метана, поскольку отсутствуют выбросы CO₂.

Основной способ получения электроэнергии из водорода – топливные элементы. Преимущество – эффективность и экологическая чистота.

Водородная энергетика – это динамично развивающийся рынок, в котором еще есть место для тех, кто создаёт экологически чистые технологии – технологии будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВОДОРОДНАЯ ЭНЕРГЕТИКА. Курс лекций. Тарасов Борис Петрович, Институт проблем химической физики РАН, E-mail: tarasov@icp.ac.ru, Черноголовка, 2021
2. <https://rg.ru/2020/12/03/reg-sibfo/nuzhna-li-rossii-vodorodnaia-energetika.html>
3. Cross-ministerial Strategic Innovation Promotion Program (SIP), Cabinet Office, Government of Japan
4. Neftegaz.RU
5. <https://iz.ru/1150225/2021-04-12/rossiia-namerena-zaniat-20-mirovogo-rynka-vodoroda-k-2030-godu>
6. РИА Новости, Владивосток, 04.09.2019
7. <https://kamaz.ru/press/releases/>
8. <https://topwar.ru/179612-jenergetika-20-i-vodorodnaja-dolina-rossii.html>

О. И. Вечтомов

АО «Сарапульский радиозавод», г. Сарапул, Удмуртская Республика,
Российская Федерация

ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ МОБИЛЬНЫХ УЗЛОВ

В последнем десятилетии во всем мире произошел существенный рост в совершенствовании средств обеспечения управления и обмена информацией. Этот рост связан с развитием информационных и телекоммуникационных технологий, совершенствованием средств связи, основанный на принципиально новой элементной базе, обработки, хранения и распределения информации. В настоящее время на основе достижений в области современных цифровых технологий идет процесс объединения компьютерных и телекоммуникационных сетей, систем связи и автоматизированных систем управления (АСУ) в единую информационно-телекоммуникационную систему, включающую в себя информационную, телекоммуникационную и организационную составляющие. Изменения в системе управления Вооруженных сил, быстрое развитие и внедрение цифровых средств связи и комплексов средств автоматизации определяют необходимость модернизации и совершенствования организационно-технической структуры узлов связи.

Ключевые слова: модернизация, структура, информация, связь, узел.

О. I. Vechtomov

JSC «Sarapulsky Radiozavod», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

PROSPECTS FOR MODERNIZATION OF MOBILE UNITS

The last decade has seen significant growth worldwide in improving management and information exchange tools. This growth is associated with the development of information and telecommunication technologies, the improvement of communication facilities, based on a fundamentally new element base, processing, storage and distribution of information.

Currently, on the basis of achievements in the field of modern digital technologies, the process of combining computer and telecommunication networks, communication systems and automated control systems (ACS) into a single information and telecommunication system, which includes information, telecommunication and organizational systems, is underway.

Changes in the command and control system of the Armed Forces, the rapid development and implementation of digital communication facilities and automation systems determine the need to modernize and improve the organizational and technical structure of communication centers.

Key words: modernization, structure, information, communication, node.

Введение

Для эффективного управления воинскими подразделениями в современных условиях необходимо качественное функционирование системы воинской связи, в которой основными элементами являются узлы связи (далее УС).

Изменения в системе управления Вооруженных сил, быстрое развитие и внедрение цифровых средств связи и комплексов средств автоматизации определяют дальнейшее совершенствование организационно-технической структуры узлов связи.

При совершенствовании структуры узлов связи необходимо учесть существующие и перспективные достижения иностранной технической разведки, внедрение разведывательно-ударных комплексов и высокоточного оружия по поражению объектов управления и связи.

Все это обуславливает необходимость определения рациональных способов боевого применения полевых УС, совершенствования существующих и разработки новых методов защиты УС при воздействии поражающих факторов и средств радиоэлектронной борьбы.

Методы модернизации систем связи

В современных боевых условиях управление войсками и оружием может осуществляться только с помощью технических средств. Поэтому потребностям и условиям управления в большей степени отвечают технические средства связи, а эффективность применения подразделений непосредственно зависит от состояния связи.

Для обеспечения помехоустойчивости линий связи – путей прохождения сообщений необходимо:

- проведение комплекса мер для повышения разведзащищенности излучающих радиоэлектронных средств;
- организовать на УС ионосферно-волновую и частотно-диспетчерскую службу.

Ионосферно-волновая служба должна иметь возможность проведения трассового зондирования и постоянного мониторинга рабочего спектра частот.

Частотно - диспетчерская служба должна иметь в своем распоряжении программные средства, позволяющие проводить частотно-временной прогноз, а также:

- выполнять изменения рабочих частот с одновременной имитацией связи на подавленных частотах;
- внедрять адаптивные радиолинии с применением группового метода назначения частот;
- использовать узконаправленные антенны;
- применять помехозащищенные режимы работы с маневром излучаемой мощности и поляризации;
- применять ретрансляционные пункты, включая пункты ретрансляции беспилотных летательных аппаратов;
- правильно выбирать взаимную ориентацию антенн УС.

В настоящее время современные цифровые технологии позволяют объединить системы связи и автоматизированные системы управления в единую информационно-телекоммуникационную систему, включающую в себя информационную, телекоммуникационную и организационную составляющие.

Под информационно-телекоммуникационной системой следует понимать организационно-техническое объединение сил (средств) связи и автоматизации, реализующее информационные процессы с использованием информационных и сетевых технологий.

Информационная часть отражает содержание автоматизированной системы управления - базы данных, информационное, математическое, программное, техническое (аппаратное), лингвистическое обеспечение.

Телекоммуникационная часть включает: системы связи и сетевые технологии, которые определяют тип, архитектуру, порядок и правила функционирования сетей связи.

Одним из основных направлений развития является совершенствование полевой составляющей системы управления Вооруженных сил РФ и ее системы связи.

Недостатки существующих полевых систем связи обусловлены тем, что перечень услуг по связи не соответствует современным требованиям управления войсками и оружием.

Система связи должна обеспечить предоставление интегрированных услуг по передаче самых различных видов информации, удовлетворение всего спектра информационных потребностей войск и штабов всех уровней. Поэтому перспективные полевые системы связи ВС РФ должны создаваться как полнодоступные, автоматизированные системы на основе унифицированных цифровых средств и комплексов связи и новейших телекоммуникационных технологий.

Ведущее место в структуре систем связи занимают узлы связи пунктов управления, предназначенные для распределения и предоставления должностным лицам пунктов управления необходимого набора услуг связи при обеспечении управления войсками в установленные сроки с заданным качеством.

Аппаратно-программные средства, выполненные на базе технологий интеграции функций коммутации, каналообразования, шифрования, функций управления позволят строить полевые узлы связи на основе комплексных аппаратных и станций связи.

Комплексные аппаратные связи должны дать возможность коренным образом пересмотреть структуру построения узлов связи полевых подвижных пунктов управления, отказаться от их центрального принципа построения и создать узлы связи такой структуры, которая учитывала бы тенденции развития структуры пунктов управления.

Основным вариантом дальнейшего развития пунктов управления и их узлов связи выбран вариант модульного построения. В этом случае узел связи может быть представлен как совокупность определенным образом связанных и организованных модулей (компонентов). Это в свою очередь должно не только упростить доступ пользователей (абонентов) к ресурсу услуг связи, но и улучшить разведзащищенность, живучесть и мобильность узлов связи и пунктов управления в целом.

В транспортной сети перспективной цифровой полевой системы связи должен быть реализован принцип *гибридной коммутации* (коммутации каналов и пакетов). В своем составе узлы доступа (опорные узлы связи) транспортной сети будут иметь средства передачи (радиорелейные, кабельные, волоконно-оптические), коммутации и радиодоступа мобильных абонентов.

При создании перспективной полевой системы связи особое внимание следует уделить автоматизированной системе управления, которая предназначена для обеспечения управления процессами планирования, организации и качества предоставления услуг связи, а также обеспечения

безопасности связи и защиты информации, взаимодействия с автоматизированной системой управления войсками (силами), автоматизированной системой управления связью объединенной автоматизированной системы связи ВС РФ и Единой сети электросвязи России, сбора информации о состоянии полевой системы связи и ее элементов.

Основными направлениями создания перспективной цифровой полевой системы связи должны стать:

- повышение пропускной способности сетей и системы связи в целом за счет применения широкополосных цифровых каналов, интегральных коммутационных устройств;

- широкая автоматизация процессов связи и управления связью на базе внедрения высокопроизводительной вычислительной техники;

- переход на модульную конструкцию средств и комплексов связи вплоть до объединения в одном устройстве функций преобразования сигналов, каналообразования, коммутации, шифрования;

- применение модульного принципа построения узлов связи, обеспечивающего унификацию организационно-технического построения узлов связи и системы связи в целом, более высокую живучесть и гибкость системы в условиях воздействия извне;

- конструирование аппаратуры связи на новой элементной базе, использование волоконно-оптических средств, позволяющих повысить надежность работы средств связи и уровень показателей мобильности элементов системы связи;

- повышение ремонтпригодности средств связи и сокращение периодичности их обслуживания, автоматизация процессов ремонта и обслуживания в целях достижения большей надежности связи, обеспечение возможности управления отдельными средствами непосредственно офицерами-операторами;

- внедрение средств и сетей связи с повышенной помехоустойчивостью и разведзащищенностью.

Развитие полевой системы связи предполагает создание единой телекоммуникационной сети на основе: перспективных сетевых технологий; внедрения современных цифровых средств каналообразования; автоматизации процессов коммутации, контроля распределения канального ресурса и предоставления широкополосного доступа к сети; организации цифровой сети доступа с интеграцией услуг, поддерживающей своим ресурсом все службы электросвязи.

С учетом расширения номенклатуры телекоммуникационных услуг, предоставляемых пользователям (абонентам), предполагается, что перспективная полевая система связи должна быть мультисервисной.

В связи с этим перед мультисервисными сетями ставится сложная задача совмещения передачи разнородной информации по единой сетевой инфраструктуре. При этом к свойствам такой сети выдвигаются серьезные требования.

Так, во-первых, должна обеспечиваться минимально допустимая пропускная способность сети для каждого вида трафика в отдельности. Очевидно, в мультисервисной сети для каждого вида трафика должна быть определена скорость передачи, согласованная со всеми промежуточными устройствами сети. Передача одного вида трафика не должна отрицательно

воздействовать на другие. Каждое приложение, работающее в сети (видеоконференция, база данных и т. д.), должно получить в свое распоряжение определенный согласованный ресурс мультисервисной сети.

Во-вторых, необходимо обеспечить минимально допустимую задержку для мультимедийного трафика. Для передачи данных выгодно использовать длинные информационные пакеты, что существенно снижает накладные расходы сети на служебные данные и операции. В то же время передача голосового трафика или трафика видео в таких условиях становится проблематичной.

Современные информационные и телекоммуникационные технологии, а также аппаратно-программные средства, разрабатываемые на их основе, позволяют обеспечивать связь и обработку всех видов информации непосредственно на рабочих местах, занятых должностными лицами пунктов управления.

Перспективные сети документального обмена должны заменить полуавтоматические телеграфные сети, которые позволят интегрировать обмен всеми видами документальных сообщений, что в свою очередь приведет к повышению надежности, качества и скорости обслуживания, сокращению количества обслуживающего персонала и технических средств.

Сети документального обмена будут создаваться на основе топологии взаимосвязанных локальных вычислительных сетей, имеющих выходы на транспортную сеть для обеспечения обмена информацией с вышестоящими, подчиненными и взаимодействующими пунктами управления. Такая структура позволит организовать информационно-вычислительную систему с распределенными функциями, оптимальным образом обеспечивающую решение задач обмена всеми видами информации.

Внедрение на узлах связи и элементах пунктов управления многоконтурных локальных вычислительных сетей позволит сократить количество применяемых на узлах связи средств и комплексов связи при одновременном повышении оперативно-тактических и технических характеристик полевых узлов связи.

Заключение

Использование перспективных телекоммуникационных технологий и их интеграционных возможностей позволяет:

- перейти к построению распределенной в пространстве цифровой высокоскоростной телекоммуникационной сети, обеспечивающей передачу всех видов информации;

- предоставление большого числа дополнительных услуг, специфичных для военного применения.

При этом вопросы по внедрению новых телекоммуникационных технологий и техники в процессе совершенствования и развития полевой системы связи должны решаться с учетом обеспечения постоянной готовности к развертыванию и наращиванию полевой системы связи, получения максимально возможного выигрыша от внедрения новых комплексов и средств связи, и обеспечения преемственности, и непрерывности процесса перевооружения войск связи новыми средствами связи.

А. С. Свояков

АО «Сарапульский радиозавод», г. Сарапул, Удмуртская Республика, Российская Федерация

АНАЛИЗ ДОСТОВЕРНОСТИ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ РАСПРОСТРАНЕНИЯ РАДИОВОЛН В КВ ДИАПАЗОНЕ

Свойства ионосферы к отражению радиоволн сильно зависят от их частоты, взаимного расположения приемника и передатчика, активности солнца и времени суток. В связи с непостоянной активностью солнца, точного решения не существует, и применяются методы прогнозирования распространения радиоволн разной степени точности. В представленной работе анализируется достоверность некоторых методов прогнозирования распространения радиоволн.

Ключевые слова: прогнозирование, КВ, ДКМВ, достоверность.

A. S. Svojakov

JSC «Sarapul Radio Plant», Sarapul, Udmurt Republic, Russian Federation

THE ANALYSIS OF CALCULATION METHODS ACCURACY FOR THE HF RADIO WAVES PROPAGATION

The ionosphere reflecting abilities depend heavily on radio frequency, receiver and transmitter disposition, solar activity and time of day. The solar activity is not constant, so the explicit solution of the task is absent. There are some methods to approximate calculation of the HF propagation. In this paper we analyze accuracy of various methods of the HF radio waves propagation calculating.

Keywords: predict, propagation, HF, accuracy

Введение

Устойчивая передача данных в КВ диапазоне возможна в ограниченной полосе частот. Выбор оптимальной рабочей частоты, особенно при работе на больших расстояниях, является определяющим фактором при планировании радиосвязи. При работе в КВ диапазоне используется свойство ионосферы к отражению радиоволн. Свойства ионосферы к отражению радиоволн сильно зависят от частоты радиоволн, взаимного расположения приемника и передатчика, активности солнца и времени суток. Поскольку активность солнца непостоянна, нет возможности однозначно определить оптимальные рабочие частоты для конкретных позиций приемника и передатчика. Так как точного решения не существует, применяются методы прогнозирования распространения радиоволн. Разработано несколько методов прогнозирования распространения радиоволн, разной степени точности.

Анализ достоверности методов прогнозирования распространения радиоволн

Семейство методов графоаналитического прогнозирования [1, 2], включая метод Казанцева [3].

Суть методов сводится к определению МПЧ по графикам и таблицам с учетом коэффициентов. В общем случае, выполняется вычисление длины радиотрассы при помощи карты больших кругов, наложенных на карту мира в проекциях Меркатора, выбор количества отражений от ионосферы, вычисление разности времен между приемником и передатчиком, определение критической частоты и дальнейший расчет максимально применимой частоты (МПЧ), оптимальной рабочей частоты (ОРЧ). Либо используется семейство кривых, аналогичных приведенным на рисунке 1.

Входные данные (в общем случае):

- координаты приемника и передатчика;
- карта мира, карта больших кругов;
- карта прогноза критических частот;
- номограммы МПЧ;
- номограммы суточного хода для времени года.

Выходные данные (в общем случае):

- таблица МПЧ;
- таблица ОРЧ.

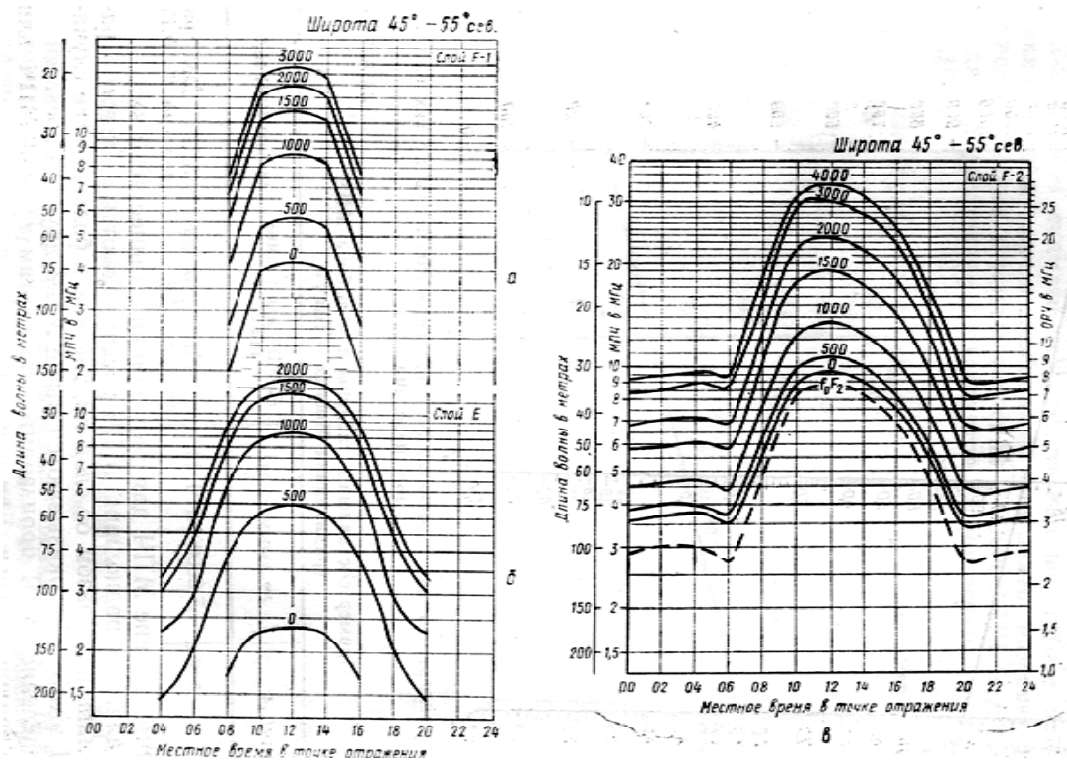


Рисунок 1. Номограммы для расчета оптимальных рабочих частот

Комбинированный метод неравных скачков и контрольных точек

Аналитический метод прогнозирования распространения радиоволн, реализованный 18ЦНИИ МО РФ. Поскольку нет доступа к исходным текстам, нет возможности проанализировать механику метода, тем не менее, можно оценить результаты.

Входные данные:

- дата;
- число Вольфа;
- координаты точки передачи;
- азимут и расстояние до точки приема.

Выходные данные:

- слой и количество отражений;
- угол прихода;
- дальность по лучу;
- таблица значений МПЧ.

Выходные данные поддаются графической интерпретации (рисунок 2).

Мод	МПЧ	Дальность по лучу	Угол прихода
1E	13.06	1445.53	6.72
1F1	11.81	1470.25	10.37
1F2	13.49	1542.52	17.75
2F2	8.78	1844.27	36.11
3F2	7.35	2284.57	48.53

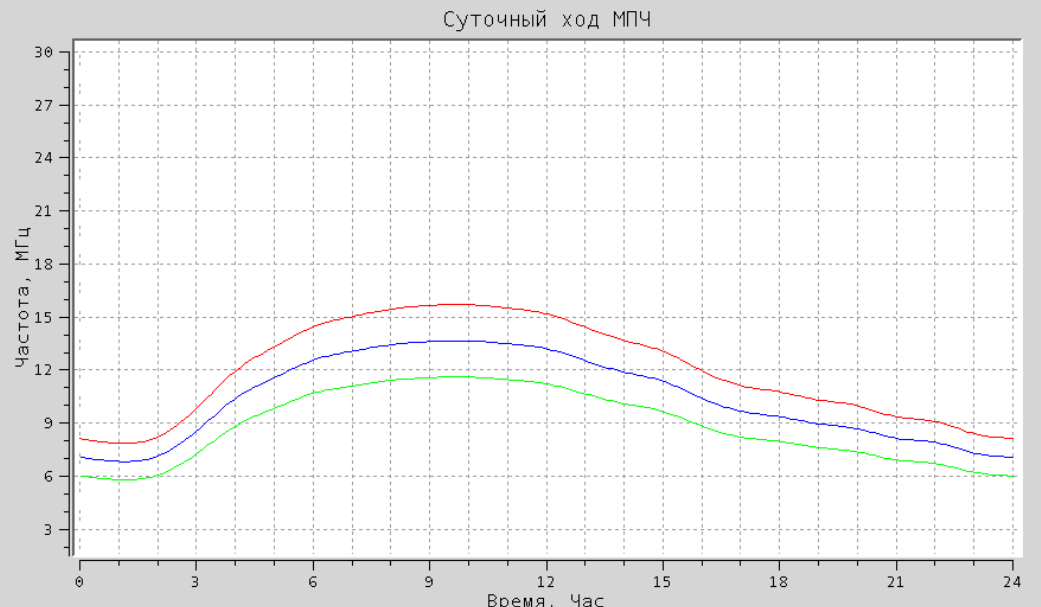


Рисунок 2. Графическая интерпретация результатов прогнозирования широтной радиотрассы дальностью 1500 км по методу неравных скачков

Метод IONCAP

Сложный метод, базирующийся на большом объеме практических данных, накопленных за много лет измерений радиотрасс разной протяженности. Метод реализован в виде библиотеки на фортране, которая распространяется по лицензии Creative Commons CC0 (общественное достояние). Взаимодействие с библиотекой осуществляется с помощью специально оформленных карточек. Входными данными служат:

- дата;
- солнечное число;
- координаты точки приема;
- координаты точки передачи;
- мощность передатчика.

Кроме приведенных обязательных данных, могут указываться дополнительные параметры. Выходные данные, представлены в виде таблиц и содержат:

- оптимальные частоты по часам;
- слой и количество отражений;
- поглощение в канале;
- угол излучения;
- значение сигнал/шум;
- другие полезные сведения, не рассматриваемые в данной работе.

Выходные данные поддаются графической интерпретации (рисунок 3). Для задания исходных данных и интерпретации результатов расчета автором статьи была разработана «Программа управления расчетом прогнозирования распространения радиоволн КВ диапазона» (свидетельство о государственной регистрации №2018662651).

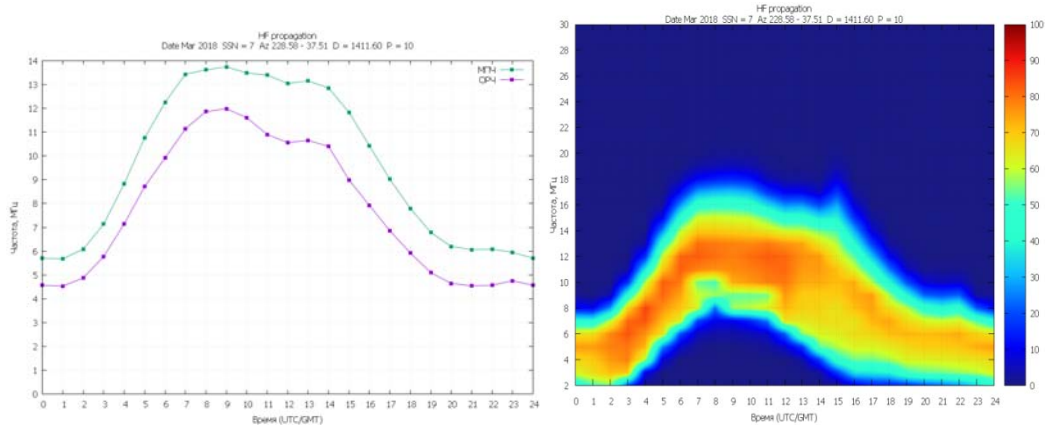


Рисунок 3. Графическая интерпретация результатов прогнозирования широтной радиотрассы дальностью 1500 км по методу IONCAP

Сведем графики суточного хода МПЧ, полученные описанными методами, в один (рисунок 4).

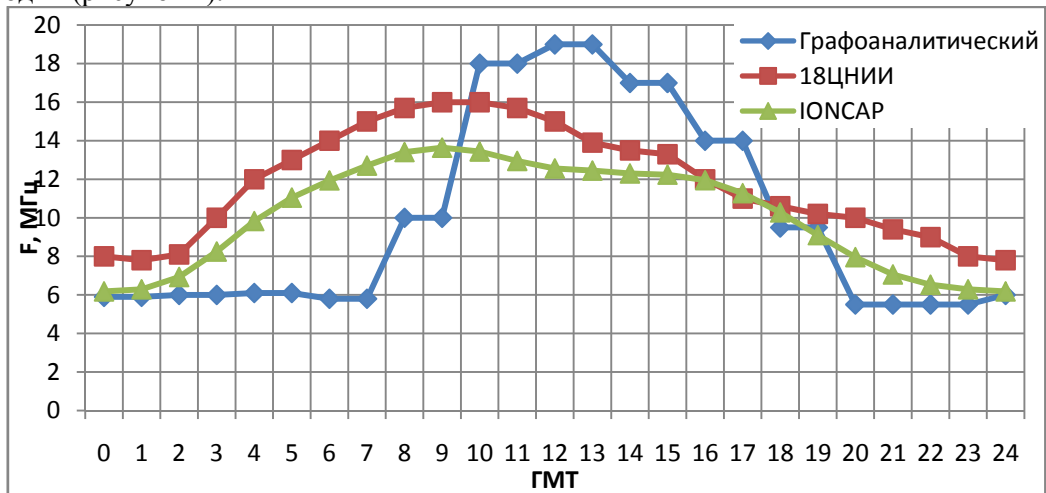


Рисунок 4. Суточный ход МПЧ полученный при помощи разных методов

Из рисунка 4 видно, что графики МПЧ, полученные методами неравных скачков и IONCAP, близки по форме. Расхождения можно объяснить различиями учета метрики солнечной активности, что приводит к некоторому завышению или занижению МПЧ. Метод номограмм при этом значительно отличается от общей тенденции в связи с отсутствием актуальных данных.

Проверим расчетные значения практической работой. Итоговый график представлен на рисунке 5. На графике отдельными точками отмечены частоты, на которых автором на той же самой радиотрассе была установлена радиосвязь.

Очевидно, что рабочие частоты в основном группируются вблизи оптимальной частоты. Тем не менее, заметны отклонения. Это может быть связано с наличием помех. В любом случае, значительных отклонений от расчетного рабочего диапазона не зафиксировано.

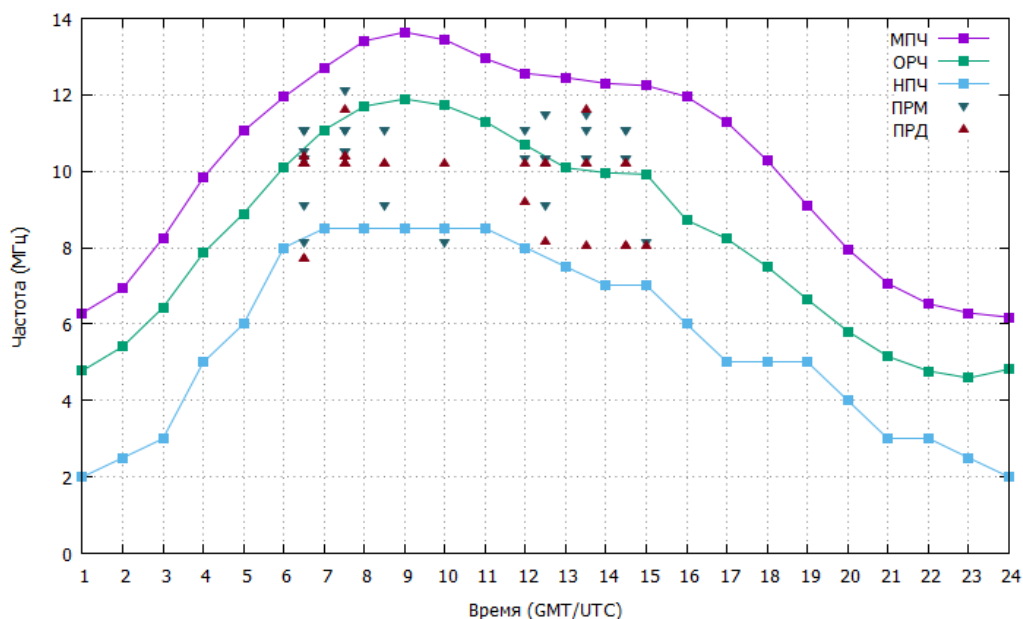


Рисунок 5. Объединенные расчетные и практические данные

Заключение

Все методы прогнозирования распространения радиоволн в той или иной степени опираются на эмпирические данные. Тем не менее, прогнозирование по методу IONCAP максимально приближено к данным, полученным в ходе практической работы, что делает его наиболее точным из рассмотренных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дымович Н. Д. Ионосфера и ее исследование, М.-Л. «Энергия», 1964, 40 с.
2. Амалитский М. В. Основы радиотехники, Изд. 3-е, переработ., М. «Связьиздат», 1959, 616 с.
3. Черный Ф. Б. Распространение радиоволн, Изд. 2-е, доп. и переработ., М. «Сов. радио», 1972, 464 с.

«ВЕКТОР РАЗВИТИЯ»

Сборник докладов инженерных чтений

Выпуск 10

Редактор *Я. В. Олина*
Технический редактор *С. В. Звягинцова*
Верстка *М. М. Григорьевой*

Выпуск в свет 27.04.2021. Формат 60×84/8. Усл. печ. л. 18,14. Заказ № 52

Издательство управления информационных ресурсов Ижевского государственного технического
университета имени М. Т. Калашникова
Отпечатано в типографии АО «Сарапульский радиозавод»

Контактные данные:
Сайт: srz@srzudm.ru
г. Сарапул, ул. Гоголя, 40
Телефон: +7 (34147) 3-26-50

