



Научно-технический
журнал по вопросам
разработки и
производства
инновационной
продукции

Лицензионный договор
№ 285-1/2021 (НЭБ)

Журнал выходит
4 раза в год

Электронная версия
доступна по адресу
nsc.goz.ru/magazine



Адрес редакции:
192012,
г. Санкт-Петербург,
вн.тер.г. муниципальный
округ Рыбацкое,
пр-кт Обуховской
Обороны, д. 120.

E-mail:
nsc.mv@goz.ru
Тлф:
8 (812) 207-56-20

РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА
ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»
№ 17 (25) – 2025

АО «НПО Обуховский завод»

Редакционный совет:

Подвязников Михаил Львович, д.т.н., доц.
Волокитина Ирина Николаевна, к.э.н.
Долбенков Владимир Григорьевич, к.т.н.
Брагин Алексей Юрьевич, к.э.н., доц.
Король Виктор Михайлович, к.т.н.

Главный редактор

Баушев Сергей Валентинович, д.в.н., проф.
Заместитель главного редактора
Сайбель Алексей Геннадиевич, д.т.н., доц.
Технический редактор
Васильева Людмила Николаевна

Редакционная коллегия:

Гаврилов Роман Сергеевич, к.т.н.
Геворкян Арвид Грайрович, д.т.н., проф.
Завгородний Александр Федорович, д.и.н., проф.
Зозуля Виктор Михайлович, к.т.н.
Королев Андрей Валерьевич, к.т.н.
Криворучко Юрий Тимофеевич, д.т.н.
Макавеев Александр Тимофеевич, к.т.н.
Марченко Борис Иванович, д.т.н., проф.
Раскин Александр Владимирович, д.в.н.
Синицын Евгений Александрович, д.т.н., проф.
Федоров Дмитрий Александрович, к.т.н.
Фридман Леонид Борисович, д.т.н.
Шатраков Юрий Григорьевич, д.т.н., проф.
Щеглов Дмитрий Константинович, к.т.н., доц.
Яковлев Андрей Вячеславович, д.т.н.
Яковлев Виктор Тимофеевич, д.т.н.

Санкт-Петербург

РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ» №17 (25) – 2025: ТРУДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ». – СПб.: Балтийская печать, 2025. – 120 с. – ил.

Научно-технический журнал **РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»** публикует результаты научных исследований, разработок и производства инновационной продукции в областях организации производства, вооружения и военной техники, радиофизики, организации воздушного движения, радионавигации, радиолокации.

К участию приглашаются сотрудники предприятий оборонного промышленного комплекса, научных и образовательных учреждений Российской Федерации.

Мнение редакции может не совпадать с точкой зрения авторов. Ответственность за достоверность материалов лежит на авторах публикаций.

Отсутствие в статьях сведений, содержащих государственную тайну, подтверждается наличием соответствующих Заключений о возможности опубликования с предприятий.

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов.

© АО «Обуховский завод», 2025



Уважаемый читатель!

Семнадцатый номер нашего журнала содержит разноплановые интересные материалы более чем пятнадцати авторов – как начинающих ученых, так и профессорского уровня.

Доктор военных наук профессор Раскин А.В. продолжает серию ознакомительных статей о системах предупреждения о ракетном нападении (СПРН), в данном выпуске – о космическом, так называемом, первом эшелоне США обнаружения стартов межконтинентальных баллистических ракет и баллистических ракет с подводных лодок. Здесь же отметим, что возможности системы по обнаружению пусков ракет и прогнозирования точек падения позволяют выявлять таковые не только по стратегическому оружию, но и оперативно-тактического уровня. Для заинтересованного читателя стоит порекомендовать недавно вышедшую в свет книгу «Ядерная война»¹, написанную в жанре постапокалиптики. В плане аннотируемой статьи Раскина А.В. эта книга интересна своими страницами, на которых хронологически поминутно описывается, в том числе, и предполагаемое функционирование космического эшелона предупреждения о ракетном нападении и алгоритм действий должностных лиц и технических систем. Упомянутую книгу можно также рассматривать и как жанр псевдо-документального сценария развития политических событий в популярном изложении, типичным представителем которого в новейшее время является Т.Клэнси.

Свою оригинальную, в какой то мере, философско-надтехническую тему продолжает² кандидат технических наук старший научный сотрудник Гузевич С.Н. В основе статьи «Природные параметры пространства и времени в навигации» заложена идиоматика, связанная с парностью строения материи, одна из форм которой связана со временем. Парность строения материи – это свойство, которое необходимо обязательно учитывать при ее измерении, описании и использовании, которое далеко не

¹ Джейкобсон Э. Ядерная война. Сценарий / Энни Джекобсон; пер.с англ. Ереван: Fortis Press, 20025. 400 с.

² См. Гузевич С.Н. Инерциальные поля и их взаимодействия // Труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз – Антей»: Радионавигация и время. 2024. № 14 .

всегда выполняется.

Также к философско-надтехническим и даже мировоззренческим относится следующая статья кандидата технических наук, доцента Щеглова Д.К. совместно с Суровцевой Т.Г. «Психические расстройства» искусственного интеллекта в контексте метаморфозов изоморфизма больших языковых моделей», несколько перенасыщенная околонучной терминологией, демонстрирующая широкую эрудицию авторов и их превосходство над читателем, и не дающая отсыла к собственно к языковым моделям в их математическом смысле. Здесь заслуживает внимания и внимательного критического математического анализа введение авторами, очевидно не являющимися разработчиками систем и средств искусственного интеллекта, аналогий множества используемых неких мыслительных образов искусственного интеллекта со строгими математическими понятиями, внешне подходящими для описания предметной области через некие терминологические аналогии. В статье предлагается под «изоморфизмом» понимать свойство сохранения аналогий или схожести в структуре и функциональности между *LLM* как некой программы искусственного интеллекта и мозгом человека (в обе ли стороны?), а под «метаморфозами» – изменения или преобразования в работе *LLM*-моделей, аналогичные тем, которые могут происходить в человеческом мозге в результате обучения или адаптации к новым условиям.

Статья кандидатов наук доцента Нефедовой Л.А. и Мартинсона К.А. «Будущее технологий получения СВЧ-ферритов» посвящена анализу перспективных технологических подходов к получению СВЧ-ферритов – ключевых материалов для высокочастотной электроники, устройств радиосвязи и радиолокации. Авторы принадлежат к кругу разработчиков названных технологий и их деятельность в этой области была отмечена в 2025 году Премией Президента РФ. В статье приведен сравнительный анализ современных и перспективных методов синтеза, такие как микроволновая и лазерная обработка, золь-гель и метод растворного горения, аддитивные технологии, а также подходы, основанные на управлении микроструктурой и составом с целью минимизации магнитных потерь и повышения добротности. Особое внимание уделено разработке низкотемпературных и энергоэффективных процессов, обеспечивающих совместимость СВЧ-ферритов с интегральной электроникой и многослойными структурами. Обозначены направления дальнейших исследований, включая гибридные материалы и применение машинного обучения для оптимизации состава и параметров синтеза.

«Способ защиты информации от утечки по техническим каналам и устройство для его реализации» предлагает Ольховик Р.А., сущность которого заключается в определении пороговых уровней дестабилизирующих факторов, приводящих к образованию технических каналов утечки информации при практическом использовании средств связи на реальной местности и в реальной обстановке, и их парированию за счет применения соответствующих обоснованных мер защиты информации.

10 июля 2025 года в Научно-образовательном центре АО «НПО «Обуховский завод» состоялся Третий ежегодный научно-технический экспертный семинар аспирантов и соискателей Концерна, на котором в двух секциях были заслушаны и подвергнуты экспертному разбору 15 докладов. Авторы докладов – сотрудники пяти предприятий Концерна и Государственного университета авиакосмического приборостроения апробировали свои первые и последующие научные результаты.

Высокую оценку получил публикуемый здесь доклад Агеевой А.В., доктора технических наук профессора Колтышева Е.Е. и Вицукаева А.В. на тему «Математическая модель сигнала гомодинного измерителя скорости носителя». Сильный в математическом плане материал претендует на новую алгоритмику обработки отраженных ЛЧМ-сигналов миллиметрового диапазона маломощной движущейся портативной мини-РЛС в приемнике прямого преобразования. Экспериментальные исследования на подвижном составе метро демонстрируют хорошую сходимость результатов математического моделирования отраженного сигнала от цели на фоне подстилающей поверхности с реальными.

Скорее к практическим, а, пока еще, не научным следует считать статью аспиранта Жубра А.М. на тему «Замены материалов и комплектующих в составе изделий на этапе осуществления закупочных процедур», в которой рассматривается функциональный цикл снабжения крупного производственного предприятия. Предложено описание применения правил замены материалов и комплектующих изделий в автоматизированной системе в ходе управления закупочными процедурами на этапе проработки потребности производства. Приведены интересные результаты анализа статистики закупок материалов и покупных комплектующих изделий с учетом применяемых правил замен на этапе проработки потребности.

Интересную постановку задачу и способ управления воздушным движением в особых случаях возникновения нештатных ситуаций на борту воздушных судов предлагают Алтухов Э.Ю. и Наполов Е.Ю. в статье «Модель контроля полета и оказания помощи воздушным судам государственной авиации при возникновении особых ситуаций». Суть предлагаемых способа и модели состоит в расчете траекторий объектов и подвода самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией путем параллельного сближения в упрежденную точку, позволяющие с достаточной точностью спрогнозировать координаты точки встречи и время полета самолета-лидера на основе балансного уравнения относительно времени достижения упрежденной точки.

В раздел «дискуссионная трибуна» отнесена статья «Фазовая и широтно-импульсная модуляция сигналов новыми комплексными последовательностями» кандидата технических наук Ненашева В.А. и Чембарисовой Р.И. по причине неоднозначности мнений экспертов и рецензентов этого материала. Основными соображениями в этом плане являются то, что, во-первых, авторы претендуют на развитие М-последовательностей в новые комплексные последовательности, которые в принципе не являются линейно рекуррентными как основное свойство М-последовательностей. Похоже, что просто осуществляется переход к сигналам типа модуляции с минимальным сдвигом и их декодированию с мягким решением. Во-вторых, неясна постановка целевой функции через минимум уровней боковых лепестков нормированной корреляционной функции, что не позволяет оценить целевые характеристики радиолокационной системы как таковой, а сам достигнутый минимум не сравнивается с иными последовательностями, боковыми выбросами периодической АКФ, а также способами компенсации боковых выбросов АКФ. Редакция журнала надеется на проявление интереса читателей к публикуемой статье с целью дальнейшего плодотворного развития предложенного подхода.

Завершающий раздел «Листая старые страницы» 17-го номера журнала содержит результаты больших исторических изысканий *докторов технических наук Сай-*

беля А.Г. и Геворкяна А.Г. В статье «Модуляция дальностью и скоростью» авторы проводят исторические параллели современных средств и способов телекоммуникаций и вопросов электродинамики начала прошлого века. Пожалуй, наибольший интерес эта статья представляет в плане анализа развития инженерной мысли, решающей постоянно возникающие все новые трудности на пути движения к совершенству.

Доктор военных наук, профессор
С.В.Баушев

Содержание

<i>Раскин А.В.</i>	
Космический эшелон системы предупреждения о ракетном нападении США	8
<i>Гузевич С.Н.</i>	
Природные параметры пространства и времени в навигации	18
<i>Щеглов Д.К. , Суровцева Т.Г.</i>	
«Психические расстройства» искусственного интеллекта в контексте метаморфозов изоморфизма больших языковых моделей	28
<i>Мартинсон К.Д., Нефедова Л.А.</i>	
Будущее технологий получения СВЧ-ферритов	39
<i>Ольховик Р.А.</i>	
Способ защиты информации от утечки по техническим каналам и устройство для его реализации	52

Статьи аспирантов и соискателей

<i>Агеева А.В., Колтышев Е.Е., Вищукаев А.В.</i>	
Математическая модель сигнала гомодинного измерителя скорости носителя	61
<i>Жубр А.М.</i>	
Замены материалов и комплектующих в составе изделий на этапе осуществления закупочных процедур	75
<i>Алтухов Э.Ю., Наполов Е.Ю.</i>	
Модель контроля полета и оказания помощи воздушным судам государственной авиации при возникновении особых ситуаций	84

Дискуссионная трибуна

<i>Ненашев В.А., Чембарисова Р.И.</i>	
Фазовая и широтно-импульсная модуляция сигналов новыми комплексными последовательностями	91

Листая старые страницы

<i>Геворкян А.Г., Сайбель А.Г.</i>	
Модуляция дальностью и скоростью	110

УДК 001.891.34

КОСМИЧЕСКИЙ ЭШЕЛОН СИСТЕМЫ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ О РАКЕТНОМ НАПАДЕНИИ США

Раскин А.В.

В статье рассматривается история развития, современное состояние и перспективы развития космических систем предупреждения о ракетном нападении США. Показаны возможности современных космических систем стратегического наблюдения и раннего оповещения DSP, SBIRS, перспективной программы NGOPIR. Проанализированы перспективы развития космического эшелона системы предупреждения о ракетном нападении США с учетом принятия на вооружение гиперзвукового оружия. Материал подготовлен на основании анализа публикаций в зарубежных и отечественных источниках – информационных агентствах, а также информационных ресурсов, специализирующихся на военной тематике, в том числе, missilethreat.com, topwar.ru и ряда других.

Ключевые слова: Система предупреждения о ракетном нападении; контроль космического пространства; космическая система; межконтинентальные баллистические ракеты; оперативно-тактические ракеты; гиперзвуковое оружие.

Введение

В настоящее время особую роль в ядерном сдерживании играют размещенные на геостационарной (ГСО) и высокой эллиптической орбите (ВЭО) системы раннего предупреждения. Они способны информировать о возможной ядерной атаке по засечкам факелов ракетных двигателей при запуске. Такие системы позволяют увеличить промежуток времени, в течение которого можно принять решение о необходимой реакции на ракетное нападение. Данные с этих космических аппаратов (КА) также важны для противоракетной обороны (ПРО), эффективность которой зависит от оперативности обнаружения запусков ракет, подлежащих перехвату на подлете к возможной цели.

Сегодня для своевременного обнаружения пусков межконтинентальных баллистических ракет (МБР) и баллистических ракет подводных лодок (БРПЛ) в США функционирует два эшелона системы предупреждения о ракетном нападении - космический, ведущий наблюдение за поверхностью Земли, и наземный, включающий надгоризонтные радиолокационные станции, которые, кроме предупреждения о ракетном нападении, способны выдавать целеуказания средствам ПРО.

Целью настоящей статьи является рассмотрение современного состояния и перспектив развития космического эшелона системы предупреждения о ракетном нападении США.

1 Создание космической системы стратегического наблюдения и раннего оповещения *DSP* (*Defense Support Program*)

Анализ хода операции «Буря в пустыне» привело военных аналитиков США к выводу о необходимости создания глобальной космической системы наблюдения, способной своевременно и достоверно обнаруживать не только МБР, но и пуски тактических и оперативно-тактических ракет. Например, система *DSP* отследила запуски иракских ракет «Скад» по территории Израиля и Саудовской Аравии.

Вместе с этим существующая на тот момент космическая система стратегического наблюдения и раннего оповещения удовлетворяла этим требованиям частично.

DSP, известные также как *IMEWS* (*Integrated Missile Early Warning Satellite*), пришли на смену спутникам системы *MIDAS*. Первый КА в серии был выведен на геостационарную орбиту в 1970 году.

Функционирование спутника происходит следующим образом. КА *DSP* медленно вращается (6 оборотов в минуту) вокруг оси, направленной в надир, чтобы система детекторов могла сканировать Землю. Нулевой момент (по трём осям) стабилизируется с помощью реактивного колеса, которое противодействует вращению космического аппарата. Четыре солнечные панели вырабатывают примерно 1300 Вт. *DSP* устойчивы к радиации. Полезная нагрузка КА это телескоп с 6000-элементной инфракрасной матрицей, детекторы ядерных взрывов, мониторы обнаружения частиц.



Рисунок 1 – Спутник системы *DSP*

Созданная орбитальная группировка начала функционировать в 1975 году и включала в себя 5 КА. Для прямого наблюдения Земли достаточно было трех КА, остальные использовались для подтверждения полученной информации путем наблюдения на проходе, на фоне космоса. В дальнейшем группировку увеличили до 7 КА. С учетом срока активного существования на орбите и различных модернизаций группировка *DSP* должна была включать в себя до 25 КА.

Реально с 1970 года США запустили 23 спутника *DSP*. Срок активного существования первых КА *DSP* составлял 1-3 года, масса – 900 кг, КА был оснащен 2000 датчиками. В ходе нескольких модернизаций срок активного существования КА вырос до 10 лет, масса до 2300 кг, количество датчиков увеличилось до 6000.

Последний запуск космического аппарата *DSP-I Block 5* состоялся 11 ноября 2007 года. Сегодня все КА системы *DSP* не функционируют.



Рисунок 2 – Спутник *DSP* в процессе вывода на промежуточную орбиту с борта Шаттла «Атлантис» в ходе миссии *STS-44*, 1991 г.

Из стратегической системы космического наблюдения и предупреждения она должна была превратиться в единую систему. При этом компонент *DSP(IMEWS)* из космического звена СПРН становился единым. Его решили не дополнить, а полностью заменить, признав устаревшим и не соответствующим современным требованиям. Главным аргументом для замены было то, что имеющиеся КА системы предупреждения о ракетном нападении не предназначались для выполнения задач стратегической ПРО, а именно завязки траекторий стартующих ракет. Они с заданной вероятностью фиксируют пуски МБР, но пропускают оперативно-тактические ракеты и не могут выдавать целеуказания системе ПРО.

2 Создание инфракрасной системы космического базирования *SBIRS* (*Space-Based Infrared System*)

В 1994 году Министерство обороны США изучило возможность объединения различных инфракрасных космических систем, таких как системы предупреждения о запуске баллистических ракет, противоракетной обороны и технической разведки.

В результате на смену КА *DSP* пришли аппараты инфракрасной системы космического базирования *SBIRS*. Первый запуск *SBIRS-GEO-1* состоялся в мае 2011 года. КА *SBIRS* запускаются ракетами-носителями «Атлас-5» с космодрома на мысе Канаверал (штат Флорида).

На рисунке 3 показана схема спутника системы *SBIRS*.

Программа *SBIRS* была предназначена для решения задач предупреждения о ракетном нападении, противоракетной обороны и технической разведки с помощью КА на геостационарной околоземной орбите, высокоэллиптической орбите, а также наземной обработки данных и управления. Новые модификации инфракрасных датчиков позволяли использовать КА как для мониторинга пусков стратегических межконтинентальных ракет (что умела и *DSP*), так и крылатых ракет ближнего и среднего радиуса действия, применяемых локально.

Рисунок 3 – Схема спутника системы *SBIRS*

Первоначально программа *SBIRS* проектировалась как комплексная система, в составе которой должны были работать спутники трех типов:

а) геостационарные платформы дежурного режима *SBIRS-GEO*: КА на геостационарных орбитах, заменяющие *DSP*. Представляет собой стабилизированный по трем осям спутник с инфракрасными датчиками для сканирования и наблюдения. Наведение осуществляется с помощью зеркал телескопа. Сканирующий датчик *GEO* обеспечивает короткое время повторного наблюдения по всему полю обзора, в то время как датчик наблюдения используется для детального просмотра выделенной области.

Рисунок 4 – Спутник *SBIRS-GEO*

На КА размещены два оптико-электронных средства (ОЭС), работающих в ИК-диапазонах:

- сканирующее в ближнем ИК-диапазоне (для обнаружения пусков баллистических ракет;

- несканирующее, работающее в среднем ИК-диапазоне (для захвата и слежения за факелом двигателя баллистической ракеты).

Т а б л и ц а 1 – Характеристики КА *SBIRS-GEO*

Разработчик	Масса КА, кг	Полезная нагрузка	Диаметр зеркала, м
<i>LockheedMartin</i>	4500	Две ИК-камеры (телескоп Шмидта)	0,4

б) высокоэллиптические платформы *SBIRS-HEO* представляют собой КА на высокоэллиптических орбитах, которыми можно было бы маневрировать, перебрасывая их для наблюдения за интересующим регионом планеты. КА может выполнять несколько задач и включает в себя сканирующий датчик, состоящий из коротковолновых и средневолновых инфракрасных приемников, что позволяет получать изображения факелов двигательных установок с высоким разрешением в масштабе времени, близком к реальному.

в) низкоорбитальные спутники *SBIRS Low*, которые предназначались для точного определения параметров движения баллистических ракет. В рамках программы *SBIRS Low* предполагалось создать группировку из 24 низкоорбитальных КА, предназначенных для точного отслеживания боевых блоков и ложных целей на различных участках полёта.

Система *SBIRS Low* должна была состоять из двух основных датчиков, управляемых бортовым компьютером:

- сканирующий инфракрасный датчик, предназначенный для обнаружения баллистических ракет на начальных этапах полёта,

- инфракрасный датчик слежения, предназначенный для отслеживания ракет, боеголовок и других объектов, таких как обломки и ложные цели, на средних и поздних этапах полёта. Датчик слежения должен охлаждаться до очень низких температур.

Датчики *SBIRS* обеспечивают большую гибкость и чувствительность, чем *DSP*, и могут обнаруживать коротковолновые и средневолновые инфракрасные сигналы, что позволяет системе выполнять более широкий спектр задач.

Запуск первого спутника *SBIRS Low* должен был состояться в 2010 году, но по финансовым причинам от реализации программы отказались.

В 2001 году на основе программы *SBIRS Low* был выделен отдельный проект, который передали Агентству по ПРО. Там проекту присвоили новое название *Space Tracking and Surveillance System (STSS)*. По планам Пентагона элементы системы *STSS* в режиме реального времени должны взаимодействовать со средствами национальной системы ПРО США. Данные, полученные с КА *STSS*, позволяли перехватчикам поражать приближающиеся ракеты раньше, чем это было бы возможно с помощью других систем обнаружения. Были запущены два аппарата *STSS*, которые задействовались в различных противоракетных тестах.

В сентябре 2009 году на орбиту отправили КА *STSS-ATRR*, *STSS Demo 1*, *STSS Demo 2*. Они работали и собирали данные в течение следующих 12 лет. В марте 2022 года эксплуатация *STSS* завершилась.



Рисунок 5 – Низкоорбитальные спутники *SBIRS Low*

Таким образом, космический эшелон СПРН на базе *DSP*, состоявший из одного типа КА предлагалось заменить интегрированной системой космической разведки, состоящей из трех разнотипных аппаратов, в интересах ПРО на всех уровнях вплоть до поля боя. Эта «система систем» должна была практически в реальном масштабе времени обнаруживать запуски баллистических ракет в любой точке мира и уведомлять об этом, например, корабли «Иджис».

На рисунке 6 представлена архитектура *SBIRS*.

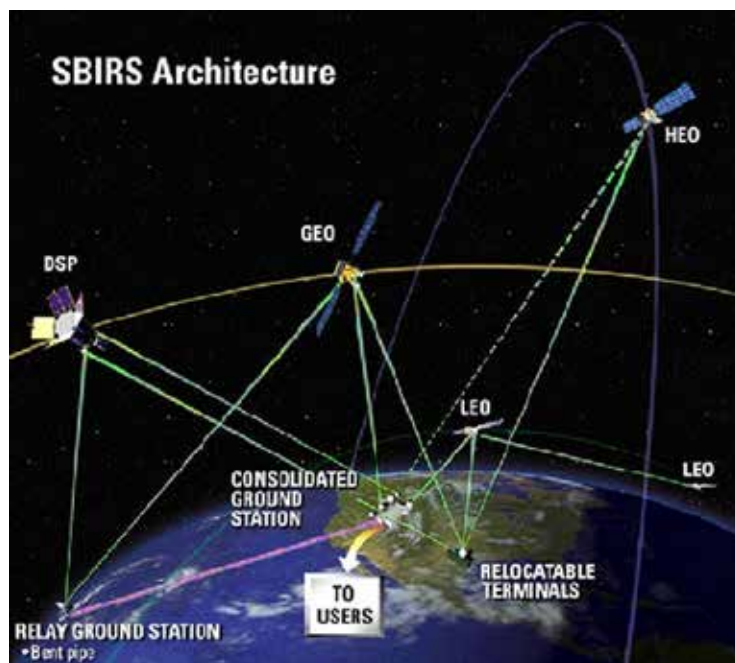


Рисунок 6 – Схема архитектуры *SBIRS*, включая наземные станции обработки и передачи информации и мобильные терминалы

Помимо обнаружения пусков МБР, аппаратура спутников позволяет производить засечку ядерных взрывов, с определением координат, а также регистрировать их мощность и спектр излучений.

Компонент *SBIRS-HEO* реализуется на основе инфракрасного оборудования, которое в качестве дополнительной полезной нагрузки устанавливается на американские разведывательные КА *JUMP SEAT*.

Данные с КА передаются по радиоканалу на наземные ретрансляционные станции, а затем по волоконно-оптическим и спутниковым каналам связи – в центр предупреждения о ракетно-ядерном ударе системы *NORAD*, где на их основе производится распознавание типа цели, определение координат точки старта и прогнозирование района падения боевого блока. Эта информация поступает на объединенный командный пункт *NORAD* для подготовки доклада высшему военному и политическому руководству США и командованию вооруженных сил.

Изначальный контракт с *Lockheed Martin* по разработке высокоорбитальных компонентов числом 4 спутника (два геостационарных и два на высокоэллиптических орбитах) был заключен в 1996 году. Сумма контракта составила 1,8 млрд. долларов. В 2005 году стоимость программы перевалила за 10,4 млрд. долларов. В 2006 году был запущен первый *SBIRS HEO*, а в 2008 – второй. Только в 2011 году в космосе оказался первый из геостационарных спутников *SBIRS GEO*.

В конечном итоге система достигла начальной эксплуатационной готовности в 2013 году.

С этого времени её роль в обнаружении неракетных целей возросла в геометрической прогрессии. В 2014 году ВВС США обнаружили и отследили 8000 инфракрасных событий, а в период с января по август 2015 года – более 7000.

По заявлениям американских военных, в январе 2020 года *SBIRS* зафиксировал более 12 запусков иранских ракет по американским объектам в Ираке.

В настоящее время на околоземной орбите работают шесть спутников *SBIRS-GEO* и четыре спутника *SBIRS-HEO*.

Таким образом, система *SBIRS* не достигла оперативной готовности. По состоянию на 2019 год на орбите находилось 5 КА, из требуемых 8-12. КА системы *SBIRS* включены в систему предупреждения о ракетном нападении США совместно с «устаревшими» КА *DSP*.

3 Реализация программы *NGOPIR* (*Next Generation Overhead Persistent Infrared*)

В 2019 году Министерство обороны США, в связи с «новой растущей угрозой гиперзвуковых и крылатых ракет», приняло решение не достраивать орбитальную группировку *SBIRS*, а сосредоточиться на ускоренном создании системы новейшего поколения.

Для реализации программы *NGOPIR* в 2018 году был объявлен конкурс на разработку и развёртывание в космосе новой спутниковой группировки раннего предупреждения о ракетном нападении.

Новое поколение системы *OPIR* должно оперативно предоставлять актуальную информацию о зонах пролета ракет. Ее созвездие будет состоять из трёх спутников на геостационарной орбите и двух полярных спутников на высокоэллиптической орбите.

Ожидается, что первый спутник будет доставлен к 2027 году, а ввод в эксплуатацию запланирован на 2029 год.

Основной отличительной особенностью системы предупреждения о ракетном нападении нового поколения станет непрерывный инфракрасный мониторинг поверхности Земли, который позволит реагировать на ракетные угрозы в круглосуточном режиме. КА должны использовать современную компонентную базу и отличаться более высокими характеристиками.



Рисунок 7 – Спутник NGG

Компания *Lockheed Martin* в августе 2018 года получила контракт стоимостью \$2,9 млрд. на постройку трех спутников NGG, и в январе 2019 года последующий контракт на \$4,9 млрд

Космические силы США приступают к развёртыванию новых КА системы раннего предупреждения о ракетном нападении в рамках реализации программы *Next-Gen OPIR*.

Цель программы – защита США и союзников от МБР и гиперзвуковых ракет. КА проекта *Next-Gen OPIR* будут развёрнуты на геосинхронной и полярной околоземных орбитах и позволят не только обнаруживать запуски ракет, но и отслеживать их перемещение.

Компания RTX передала первый аппарат NGG-1 концерну *Lockheed Martin*, который установит его на спутниковую платформу *Lm 2100 Combat Bus* и проведет испытания, имитирующие космическую среду. Как ожидается, вывод NGG-1 на геосинхронную орбиту состоится в декабре 2025 года.

По итогам серии запусков новые КА должны заменить орбитальную группировку спутников *SBIRS*. Планируется формирование всего созвездия завершить в 2029 году.

Новые КА будут развернуты на геосинхронной и полярной околоземной орбитах и позволят не только обнаруживать запуски ракет, но и отслеживать их перемещение. Планируется, что спутники проекта *Next-Gen OPIR* смогут обнаруживать даже гиперзвуковые системы.

Управление орбитальной группировкой системы предупреждения о ракетном нападении и своевременное оповещение об угрозах возложено на 460-е космическое крыло, входящее в состав Командования космических операций. Центральный ко-

мандный пункт 460-го космического крыла находится на авиабазе Баркли, в 11 км южнее международного аэропорта Денвер (штат Колорадо).

Резервный пункт управления американской орбитальной группировкой системы предупреждения о ракетном нападении расположен на авиабазе Шривер, близ города Колорадо-Спрингс (штат Колорадо).

4 Перспективы космического эшелона системы предупреждения о ракетном нападении США

Говоря о перспективах развития космического эшелона системы предупреждения о ракетном нападении США необходимо отметить следующее.

В 2019 году в США было создано Агентство космического развития (*SDA; Space Development Agency*). В его задачи входит поиск прорывных космических технологий. В октябре 2022 года *SDA* вошло в состав космических сил США. Его основной целью стала противогиперзвуковая оборона на основе большой глобальной сети из недорогих спутников.

Ее разработка – Космический датчик гиперзвукового и баллистического слежения (*Hypersonic and Ballistic Tracking Space Sensor – HBTSS*), будет способна отслеживать запуски МБР, гиперзвуковых ракет, а также других сложных воздушных целей.

В феврале 2024 года Агентство космического развития США (*SDA*) и Агентство противоракетной обороны США (*MDA*) вывели на орбиту Земли два КА *HBTSS* и четыре КА *PWSA* (*Proliferated Warfighter Space Architecture* – «космической архитектуры распределённого истребителя»). Предполагается, что полная группировка спутников *HBTSS* будет развёрнута до конца 2026 года.

Орбитальная система *Proliferated Space Warfare Architecture* строится из низкоорбитальных спутников инфракрасного слежения и спутников передачи данных через местные тактические радиосети. Сотни спутников будут работать на круговых орбитах разного наклона высотой 1000 км. Все оснащаются лазерной связью обмена между собой. Часть из них несет оборудование взаимной радиочастотной связи, часть — модули связи с наземными тактическими радиосетями.

Спутники *PWSA* являются частью крупномасштабной орбитальной системы, включающей так называемые «слои» – транспортный (связь), сенсорный (разведка), предположительно, будет ещё навигационный слой. В 2023 году на орбиту было выведено 23 спутника *PWSA*. В перспективе группировка будет включать порядка тысячи спутников, соединённых междусобой высокоскоростными лазерными каналами передачи данных, как на новейших спутниках сети связи *Starlink*.

По мнению специалистов, КА *PWSA* способны обнаруживать гиперзвуковые ракеты. Однако их инфракрасные датчики с широким полем зрения *WFOV* (*Wide-field of View*), судя по всему, не обеспечивают точность, необходимую для перехвата высокоскоростных целей. Для этого запускаются КА *HBTSS*, оснащённые инфракрасными датчиками со средним полем обзора *MFOV* (*Medium Field of View*).

Заявляется, что КА *HBTSS* и *PWSA* будут сопровождать гиперзвуковые и баллистические ракеты на всей траектории полёта, включая отслеживание планирующих гиперзвуковых боевых.

Кроме этого, по мнению военных аналитиков, сеть КА *HBTSS* и *PWSA* создается не только для обнаружения МБР или планирующих гиперзвуковых боевых блоков

типа «Авангард», но и для обнаружения оперативно-тактических ракет, таких как «Циркон», «Кинжал», а также ракет комплексов «Искандер», аэробаллистических ракет Х-22 и Х-32, противокорабельных ракет типа «Оникс», «Гранит» «Базальт» и «Вулкан».

Заключение

Таким образом, в настоящее время на орбитах работают шесть аппаратов *SBIRS-GEO* и до четырех модулей *SBIRS-HEO*. Насколько известно, в целом они справляются со своими задачами разведки и выявления пусков ракет. Тем не менее, дальнейшее строительство такой группировки посчитали нецелесообразным и запустили разработку новых КА *NG-OPIR*, *HBTSS* и *PWSA*.

Насколько удачными будут эти проекты, и удастся ли им обойтись без характерных проблем предшественников, покажет время.

Раскин Александр Владимирович – доктор военных наук, профессор, начальник отдела, Командование Космических войск, г. Москва.

Область научных интересов: космические технологии; вооружение и военная техника.

Email: NOC.RNV@goz.ru.

SPACE ECHELON OF THE US MISSILE ATTACK WARNING SYSTEM

The article examines the history of development, current status and development prospects of the US space missile attack warning systems. The capabilities of modern space systems of strategic surveillance and early warning DSP, SBIRS, and the promising NGOPIR program are shown. The prospects for the development of the space echelon of the US missile attack warning system are analyzed, taking into account the adoption of hypersonic weapons. The material was prepared based on the analysis of publications in foreign and domestic sources - news agencies, as well as information resources specializing in military topics, including missilethreat.com, topwar.ru and a number of others.

Keywords: Missile attack warning system; space control; space system; intercontinental ballistic missiles; operational-tactical missiles; hypersonic weapons.

Raskin Alexander Vladimirovich – Doctor of Military Sciences, Professor, Head of Department, Command of the Space Forces, Moscow.

Research interests: space technologies; weapons and military equipment.

УДК 513.0; 514.8

ПРИРОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОСТРАНСТВА И ВРЕМЕНИ В НАВИГАЦИИ

Гузевич С.Н.

В статье выполнено сравнение общности и отличий измерений параметров полей шаровой формы в двух системах координат: плоскостной Декарта и угловой – инерциальной системе координат. Показано, что системы координат построены на общих элементах измерений пространства: точке, прямой и плоскости. Но в угловой – инерциальной системе добавлен еще один элемент – угол, который обеспечивает замену операции измерений операцией сравнения при использовании парных наблюдений. При этом изменяется, как интерпретация параметров на осях координат, так и физических параметров амплитуд полей плотности и проводимости. Угловая – инерциальная система координат обеспечивает замену математической интерпретации элементов построения моделей их пространственными физическим эквивалентами или замену описания поверхности на объем. Статья является развитием положений работы [1].

Ключевые слова: параметры; пространств; время; навигация.

Введение

Измерение – основной процесс изучения вещественных и полевых объектов природы, без обеспечения достоверности которых, никакой прогресс в ее познании не возможен. Человечество затратило 2000 лет на изучение и совершенствование вещественной формы материи, но относительно мало затратила на изучение полей, как обязательной формы их совместного существования. Навигация одно их наиболее важных направлений измерений, которая связана с движением объектов относительно Земли, но не относительно времени. Время является параметром для радионавигации, в которой описываются особенности распространения различных частотных диапазонов на поверхности Земли. Параметра времени в навигации, в принятой его трактовке, – вообще нет. Текущее время – это описание циклов движения Земли в пространстве. Именно поэтому время измеряется приращениями, которое описывает пространственное положение каждого объекта на Земле в секторе его освещения Солнцем. Сектор замыкается хордой равной линейной мере измерений «угла» в пространстве: $1'' \approx \pi \cdot 10^{-6} \text{ м}$. Время – параметр вращательного движения и удобная форма описания жизни человечества на Земле, связанное с ее вращением вокруг оси. Поэтому в навигации вообще нет времени, а время – параметр одной из форм описания параметров полей: циклов, периодов и фаз, которые описываются еще одним парным параметром – амплитудой.

Это конечно идиоматика, связанная с парностью строения материи, одна из форм которой связана со временем. Парность строения материи – это свойство, которое необходимо обязательно учитывать при ее измерении, описании и использовании,

которое далеко не всегда выполняется.

С задачей модельного описания строения материи блестяще справился Евклид, но его постулаты парности строения материи исключали монизм религиозного строения Земли. Отсутствие у современников Евклида знаний о физических полях Земли, их форме, свойствах и характере распространения, затруднили понимание его постулатов и аксиом, так как единственными наблюдаемыми сферическими объектами были планеты. Возможность описания поверхности Земли при религиозном монизме строения мира обеспечила теорема Пифагора, создавшая ее точное описание на локальных участках плоскостной поверхности Земли. Религиозный монизм строения пространства исключил парность строения материи и шаровой формы ее строения. Это создало неопределенность измерений в пространстве, как объектов, так и физических параметров, в которых параметр времени, оказался искусственным, а отсутствие направления отсчета времени привело к исключению связи времени с пространством, хотя угол характеризует направление сжатия информации. Физические поля Земли (электрическое, магнитное, гравитационное) являются сферическими образованиями и характеризуются двумя взаимно ортогональными параметрами, как в пространстве, так и во времени. Поэтому представление физических полей Земли в виде шаров является реальной формой их существования. И доказательством этого является замкнутость каждого из физических полей, то есть сумма каждого из параметров физических полей по замкнутому контуру равна нулю. Это свидетельствует также о том, что время и пространство характеризуют две парные формы существования пространства, которые должны описываться на плоскости разными параметрами и разными системами координат.

Совместное существование двух форм материи полевой и вещественной требует модельного разделения их общности и отличий. Одна из которых отображает трехмерное пространство двумя видами параметров абсолютных по характеру в линейном пространстве, а вторая описывает его относительными по характеру параметрами, используя параллельные поля инерциального вращения в ортогональных плоскостях. Эту роль должны играть две научные дисциплины: математика и физика, которые описывают в настоящее время одинаковые действия с параметрами разными свойствами.

1 Применяемые навигационные системы координат

Применяющиеся в навигации системы координат, связанные с поверхностью Земли, должны иметь глобальный характер, охватывая значительную часть земной поверхности. Используемые в настоящее время плоскостные системы координат отображают пространственное распределение измеряемых параметров Земли в абсолютно плоскостном пространстве. Линейный характер осей координат исключает возможность «заглянуть» внутрь шарового пространства Земли. Параметры Земли, полученные в ходе радионавигационных измерений, располагаются на плоскостях на ее поверхности вдоль осей координат, и в качестве опорных рассматриваться не могут.

Пространство описывается вдоль оси координат в математических точках, описывая точечное распределение плотности. К ним относятся все виды измерений в декартовых системах координат, которые используются и в навигации. Информация,

заклученная вдоль этих осей систем координат, характеризует распределение плотности в «точечных» размерах пространства, описывая поверхностный слой поля, или в идеале, описывая слой, находящийся над поверхностью нормального шарового поля. Это позволяет описать пространственное распределение параметров поля на поверхности Земли, которую на основе линейной интерпретации используют в картографии.

Теория нутации, принятая Международным астрономическим союзом (МАС) в 2000 году, включающая почти 1500 гармоник с периодами от 2 суток до 18,6 лет и описывает этот слой. При определении координат на поверхности Земли с помощью навигационных систем (GPS, ГЛОНАСС, а в будущем GALILEO) используют принятую теорию нутации. Кроме решения прикладных задач астрометрии, геодезии и навигации, теория нутации позволяет заглянуть в глубины Земли и дать ответ на фундаментальные вопросы, оценив по оси наблюдений: границы ядра-мантии, значение вязкости жидкого ядра, скорость вращения твёрдого ядра, величину магнитного поля в ядре, вязкость мантии [2]. Но описать объёмную плотность шаровой поверхности всего слоя в угле наблюдения не удастся.

Динамические параметры Земли – важнейшие её характеристики – определяются тензором инерции Земли, определённым на эпоху установления системы координат, которые описывают характер распределения масс в теле Земли, а не закон, как считают в настоящее время [2].

В настоящее время в навигации применяют два вида плоско – пространственных систем координат: географической – геодезической и геоцентрической – ортодромической.

В географической и геодезической системе координат сетка меридиан и параллелей реальных поверхностей в районе измерений строится по эллипсоидальной модели. Разные страны используют разные эллипсоиды для описания своей поверхности, центры которых не совпадают, например, Красовского – в РФ и Хейфорда-Кларка – в США. Хотя поверхность эллипсоида имеет строгое математическое описание, но формулы, описывающие решение задач совмещения реальной поверхности с поверхностью эллипса, оказываются очень сложными, требующие использования ЭВМ с огромным объемом памяти и использования дополнительных точек на поверхности Земли в качестве опорных.

В геоцентрической – ортодромической системах координат сетка системы строится на шаре. Опорными точками системы являются полюсы, которые могут занимать на шаре различное положение в зависимости от направления трассы движения. Основными осями координат являются две окружности большого круга — ортодромии, что и определило название системы. Возможность расположения главной ортодромии в нужном направлении обеспечивают решения задачи вблизи экватора на шаре и позволяют переходить к решению их на плоскости. Отсчет геоцентрической широты производится между плоскостью экватора и направлением радиуса - вектора. Способ отсчета геоцентрической долготы совпадает со способом отсчета географической долготы. Она наиболее полно соответствует условиям применения гироскопических курсовых приборов, обеспечивающих движение по ортодромической линии, которые выражают в линейных мерах и могут быть выражены ортодромической широтой и долготой. Однако положение опорных точек зависит от направления трассы, что делает эти системы координат сугубо локальными.

Общим недостатком существующих систем глобальной навигации является от-

сутствие парных параметров, требующихся для ее реализации на замкнутой поверхности шарового глобуса, состоящей из центра и линейного параметра, постоянно присутствующих в измеряемых параметрах Земли. Эти параметры будем называть парными.

Отсутствие единой системы отсчета пространства-времени – основная причина погрешностей, вносящая характер неопределенности, в системе глобальной навигации.

2 Элементы Евклида пространства и времени

Евклид предложил рассматривать две формы строения объектов, состоящих из идеального поля в форме шара и вещества произвольной формы, заключенного в поле шаровой формы. Шаровая форма поля участвует во взаимодействии с полями других объектов такой же формы. Шаровая форма полей позволяет построить пространственную плоскость между двумя шаровыми полями, связанными двумя парами касательных лучей и достоверно оценить два параметра двух полей: амплитуду и радиус одной линейной мерой, но разными угловыми мерами. Размеры вещественной формы объектов, заключенные внутри полевой формы, оцениваются сравнением с диаметром поля, что позволяет использовать единую линейную метрику в каждом шаре, но разную угловую метрику [1].

Линейная метрика описывает пространство, принятое за математическую точку, заключенное вдоль разных осей системы координат, в каждой из которых поля могут иметь разную плотность или разные точки их отсчета. Угловая метрика описывает шаровое пространство, но не точечное, а описанное хордой, ограничивающей сектор, то есть в объеме и ее центр не может быть математической точкой. Это совершенно разные параметры пространства, описываемые разными системами координат. Пространственную плотность пространства Земли описывает угловая система координат, а поверхностную плотность в точке – описывает плоскостная система координат.

Этими свойствами обладает суммарное физическое поле Земли, парные свойства которого раскрываются при его описании в парной параллактической системе координат [1].

Параллактическая система координат раскрывает разделение физического поля на две равные, ортогональные, инерциальные составляющие вращения полей, которые формируют физические поля Земли, парным сочетанием радиусов или амплитуд полей.

Система координат Декарта раскрывает плоскостное распределение плотности верхнего слоя вещества на шаровой поверхности. Зависимость законов инерции от электромагнитных процессов стала известна только после анализа работ Фейнмана, где было показано, что инерциальные, электрические, магнитные и гравитационные поля Земли определяются движением зарядов частиц, а не их необъяснимой «механической» массой [3]. Суммарное физическое поле построено на принципе парности, связывающем время и пространство в плоскостной системе координат, обеспечивающего создание условий сравнения их параметров, для разделения или объединения.

Попытаемся последовательно рассмотреть этот вопрос из условия обеспечения достоверности измерений, контролируемой простым сравнением – наложением «образов» парных параметров одного объекта.

Основные понятия описания моделей объектов – точка, прямая и плоскость являются частью целого понятия – плоскости. Основные понятия – точка и прямая –

должны характеризоваться двумя параметрами (длиной и шириной), как и их целое – плоскость. То есть точка, прямая линия и плоскость являются характеристиками линейных мер для пространства, описывая математическое распределение плотности по осям координат.

В угловой методике описания пространства плоскость используется для сравнения разных частей шарового пространства, где прямая линия является хордой сравнения углов, а точка – является мерой оценки плотности нормального электрического и магнитного полей, которые оцениваются обратными функциональными параметрами и сравнения, и измерений. То есть для шара время – угол, оцениваемый сравнением хорд с радиусом, которые измеряются метрами, а точка является реальным размером, определяемым толщиной оболочки взаимодействующих радиусов полей. Амплитуда при этом оценивается по закону Пифагора или тригонометрическими функциями.

Все косвенные измерения выполняются на расстоянии с помощью инерциальных полей и описываются вектором, имеющим два параметра: радиус и амплитуду поля, которые невозможно сравнить, хотя они заключены в шаре и равны по модулю. Поэтому равенство в шаре одного из двух параметров обеспечивает равенство и второго параметра.

В биологической среде при использовании парных измерителей измерения выполняются сравнением приращений (градиента) между амплитудами двух наблюдаемых образов, управляя их равенством поворотом направления базы, обеспечивая когерентную связь полей, практически не используя вычисления. Поэтому вектор – это понятие шаровой методики описания пространства, но не плоскостной методики, где его используют. Использование этих понятий для построения и описания параметров вектора обеспечивает достоверность его отображений на плоскости измерений, например, как проекции в продольной плоскости, по условиям равенства измеряемых амплитуд.

Поэтому вектор – элемент описания направления, но только при доказательстве его расположения на плоскости. В геометрии вектор – это направленный отрезок прямой линии, имеющий начальную и конечную точки (лат. *vector*, несущий). Его параметры отображают в декартовой системе координат в виде двух составляющих. Это позволяет использовать плоскость как основу измерений углов и параметров времени и существенно изменяет физические представления о векторе.

В физике, в отличие от математики, под словом вектор без дополнительных уточнений обычно понимается не «какой-то вектор любого линейного пространства вообще», а прежде всего вектор, связанный с четырехмерным пространством-временем. Понятию вектор в физике соответствует целый класс направленных отрезков, одинаковых по длине и направлению, но различающихся началом и концом, или векторное поле. Обобщая позицию физики, вектор – мысленное символическое отображение физических процессов в объекте, связанных с его поступательным и вращательным движением, происходящим во времени и пространстве, которые позволяют формализовать процесс измерений математическими зависимостями, выполняющихся в двух ортогональных плоскостях.

Вектор в плоскостных системах координат описываются двумя линейными параметрами: радиусом и амплитудой поля, которые ортогональны и обычно отображаются на разных осях трехмерной системы координат Декарта, которые несут разные свойства их влияний. То есть пространственный вектор является параметром, ко-

торый имеет два плоскостных аргумента функционального влияния на процесс взаимодействия, отражаемый тремя плоскостными составляющими, связанными с поверхностью Земли. Для оценки влияния каждой из функций необходимо выполнить условия, когда одна из составляющих обнуляется, например, замыкается. Тогда результаты измерений будут характеризовать другое влияние, что и обеспечивает угловая развертка или угловая система координат.

При измерении фаз полей оцениваются все составляющие поля. Разделение суммарного результата измерений возможно только на плоскости, когда парные измерения выполняются с использованием параметров длины базы, расположенной ортогонально оси, связывающей центры полей. Отсутствие модельной связи центров систем координат двух полей является основной причиной неопределенности их измерений. Именно вектор «времени» определяет условие равновесия между взаимодействующими полями объектов, определяя положение центра F в шаре инерции.

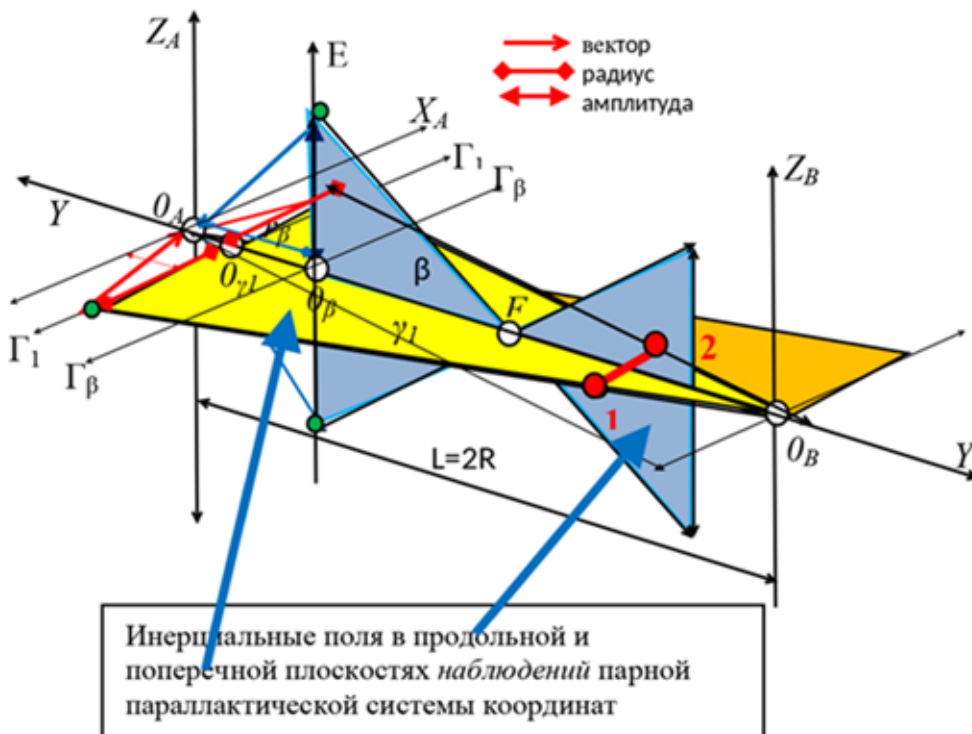


Рисунок 1 – Связь шаровых полей объектов инерциальными полями

В качестве образов полей в математике принято использовать математические понятия элементов плоскостного пространства: точки, прямой и плоскости, которые в шаровом пространстве требуют контроля только образов формы, в виде равных линейных параметров и свойств ортогональности.

Достоверность измерений полей в угловой системе координат, полученных в двух точках, разнесенных в пространстве, позволяют сравнивать два параметра: радиус и амплитуду полей, отображаемые на ортогональных осях координат, но имеющих точку, размеры которой вполне реальны и равны для Земли двум радиусам линейной меры.

Сравнение образов полей, преобразованных в ортогональные прямые линии,

может выполняться на плоскостях, обладающих ортогональностью в шаровом пространстве, и их совмещенных осях координат. Эти элементы в парной комплектации составляют сравнимые элементы пространственного взаимодействия, которые при их модульном равенстве преобразуются в шар. Преобразование шара в окружность с центром реализуется направленным углом, исходящим из любых центров, показанных на рисунке 1. Взаимодействие двух шаровых полей выполняется встречно, путем проведения из центров каждого из полей касательных в двух ортогональных плоскостях. Наиболее сильное влияние одного из полей, которое характеризуется стабильностью и постоянством, обеспечивает их резонансное взаимодействие, создавая условия парного равновесия воздействием на меру по законам геометрического и арифметического среднего. Эти действия обеспечивают постоянство радиуса меры, при изменении ее амплитуды, которая распределяется в пространстве, заполненного материалами различной плотности и характера проводимости. Таким образом, управляя слоями амплитудной плотности или проводимости, Земля изменяет наблюдаемые размеры радиуса, сохраняя постоянной радиус угловой меры.

Общая математическая основа построена на описании линейными зависимостями углового и линейного пространства, оцениваемых прямолинейными отрезками на плоскости измерений параллактической системы координат, показанной на рисунке 2 в малом формате.

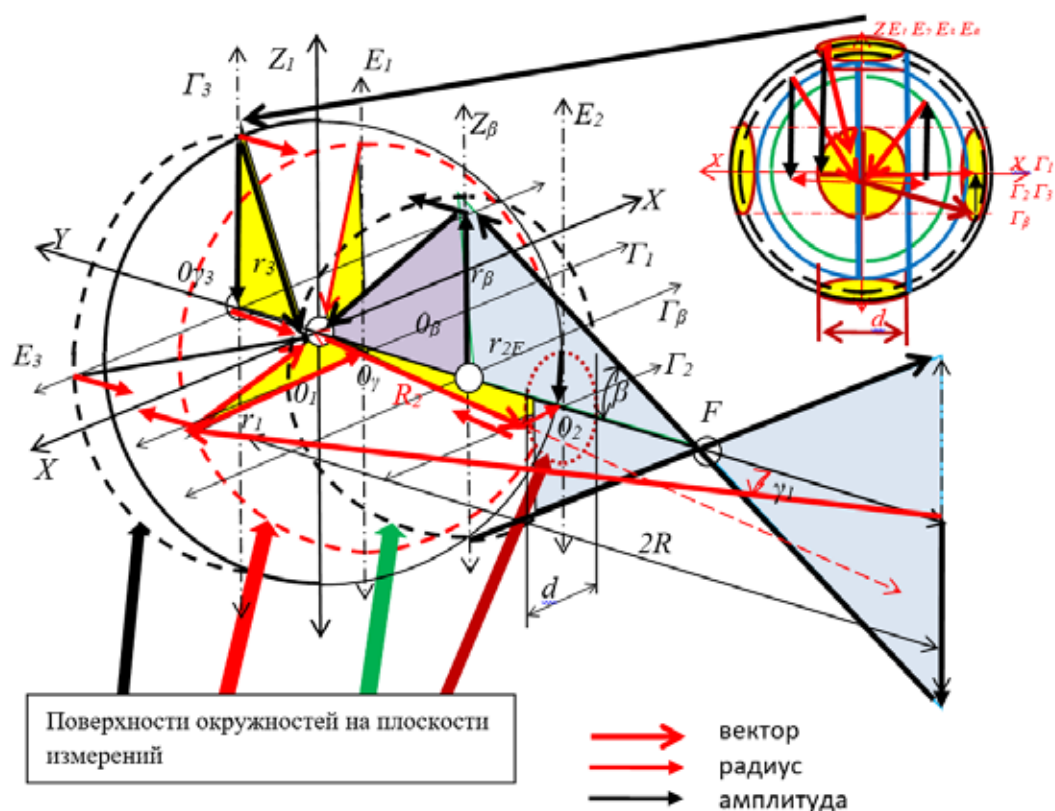


Рисунок 2 – Отображения на плоскости измерений парной параллактической системы координат

Результатом правильности решения этой задачи, выполняемой без использования допущений, будет не равенство сравниваемых результатов, а линейность используемых функциональных зависимостей для вычислений измеряемых параметров, которые однозначно обеспечивают достоверность оценки.

Решение этой задачи разбивается на 2 части: выявление параметров физических полей, которые необходимо измерять, и определение измерительных средств и принципов их построения, которые необходимо использовать. Для решения этих задач выделим общеизвестные постулаты взаимодействия полей и объектов, которые в настоящее время используют только частично, не полностью понимая их роль в процессе взаимодействий и измерений:

Во-первых, все измеряемые элементы и процессы в природе имеют парные противоположные части, например, бесконечное пространство, может быть линейным и шаровым, описываться линейными и временными параметрами, а поля характеризуются амплитудой и протяженностью, радиусом и длиной волны, прямая линия характеризуется – длиной и шириной и оцениваются их скалярным и векторным произведением. Поэтому они могут достоверно описываться только парой измерителей, разнесенных на базе. Это условие обеспечивает достоверность оценки парных параметров при равенстве их произведений или частного. При этом все объекты находятся в сферическом пространстве, а точно измеряться могут только линейные отрезки, расположенные на плоскости.

Во-вторых, поля в природе охватывают максимальные размеры объектов. Следовательно, законы взаимодействия полей определяют законы взаимодействия вещественных объектов, а не наоборот, как это принято считать в настоящее время [1]. Поля обеспечивают основу построения пространственной плоскости взаимодействия объектов.

Эти положения в виде постулат и аксиом впервые были изложены Евклидом более 2325 лет назад, но были забыты из-за продолжительного отсутствия знаний о полях Земли, которые, являясь шаровыми образованиями, взаимодействуют друг с другом по законам простого сравнения одного из параметров, но не видимы.

Выводы

Все измерения в пространстве выполняются с помощью физических полей, окружающих объекты, как наблюдаемого поля, так и поля измерителя, построенного на известной базе, расположенной на его поверхности. В природе отсутствуют средства вычислений размеров полей объектов, а взаимодействие полей и их аксиоматика построены на сравнении парных параметров шаровых полей: радиуса или амплитуды наблюдаемого поля с помощью пары измерителей.

Форма шарового поля и условия парности сравнения ее параметров позволяют реализовать создание опоры измерений в пространстве: фиксацией положения центров взаимодействующих полей при равенстве парных параметров полей. Это условие является единственным парным средством обеспечения достоверности измерений в пространстве в статике и динамике.

Сравнение общности и отличий измерений проекций пространственных параметров полей на плоскости в системе координат Декарта и Угловой – инерциальной системе координат показало, что они построены на общей элементной базе, что поз-

воляет описать пространственные параметры полей Земли достоверно при фиксации положения центров взаимодействующих полей и равенстве одного из параметров полей.

В угловую – инерциальную систему координат включен еще один плоскостной элемент – угол, который измеряется общей элементной базой, обеспечивая при использовании парных наблюдений в ортогональных плоскостях, разделение проекции шарового пространства на четыре равные части, равновесие которых обеспечено поперечным и продольным инерциальным полем.

Поперечное инерциальное поле формирует центростремительную силу, создающую внутренне замкнутый «моно-диполь» электрического поля, равенство парных амплитуд которого, фиксирует плоско-шаровую форму поперечного инерциального поля и связь его амплитуды с радиусом, через объемную проводимость, сохраняя ее постоянной.

Продольное инерциальное поле формирует центробежную силу, создающую внешне замкнутый диполь магнитного поля. Поперечное и продольное инерциальные поля имеют равные потенциалы, но зеркальные размеры амплитуд и радиусов. Дипольное магнитное поле создает внешнюю защитную оболочку, сохраняя постоянным свой радиус, находящийся в постоянной нутации относительно осей вращения и изменяя амплитуду, связанную с влиянием внешних полей, но сохраняя разность амплитуд.

Литература:

- 1 Гузевич С.Н. Инерциальные поля и их взаимодействия // Радионавигация и время. 2024. №14. С.80-92.
- 2 Швец А.И. Физика Земли: учебное пособие. Санкт-Петербург: НОИР, 2015. 208 с.
- 3 Гузевич С.Н. Постулаты Евклида и как их понимать // Навигация и гидрография. 2022. №68. С.28-44.
- 4 Гузевич С.Н. Парная параллактическая сферическая система координат // Навигация и гидрография. 2022. №68. С.45-57.
- 5 Гузевич С.Н. Метрологические аспекты достоверных измерений времени в пространстве // Навигация и гидрография. 2023. №69. С.69-76.
- 6 Гузевич С.Н. Время, пространство и их физическая сущность // Навигация и гидрография. 2023. №71. С.75-86.

Гузович Святослав Николаевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, АО «Государственный научно-исследовательский навигационно-гидрографический институт», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: магнитометрические средства измерений, использование магнитного поля Земли для целей навигации.

E-mail: Guzevich@yandex.ru

NATURAL PARAMETERS OF SPACE AND TIME IN NAVIGATION

The article compares the commonality and differences in the measurements of the parameters of spherical fields in two coordinate systems: the planar Descartes and the angular-inertial coordinate system. It is shown that the coordinate systems are built on common elements of space measurements: a point, a line and a plane. But in the angular-inertial system, one more element is added - an angle, which ensures the replacement of the measurement operation by a comparison operation when using paired observations. In this case, both the interpretation of the parameters on the coordinate axes and the physical parameters of the amplitudes of the density and conductivity fields change. The angular-inertial coordinate system ensures the replacement of the mathematical interpretation of the elements of constructing models with their spatial physical equivalents or the replacement of the description of the surface by the volume. The article is a development of the provisions of work [1].

Keywords: parameters; spaces; time; navigation.

Guzevich Svyatoslav Nikolaevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, JSC “State Research Navigation and Hydrographic Institute”, St. Petersburg.

Research interests: magnetometric measuring instruments, use of the Earth’s magnetic field for navigation purposes.

УДК 004.89

«ПСИХИЧЕСКИЕ РАССТРОЙСТВА» ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В КОНТЕКСТЕ МЕТАМОРФОЗОВ ИЗОМОРФИЗМА БОЛЬШИХ ЯЗЫКОВЫХ МОДЕЛЕЙ

Щеглов Д.К., Суровцева Т.Г.

В статье анализируются тенденции развития технологий искусственного интеллекта (ИИ), которые оказывают наибольшее влияние на современное общество и человека. Рассматриваются общие вопросы метаморфозов больших языковых моделей (LLM), которые могут происходить при их бесконтрольном развитии в процессе обучения через взаимодействие в социальных сетях и анализ интернет-контента, а также путем трансферного обучения. Приведены аналогии психических расстройств человека с метаморфозами LLM, которые могут привести к изменению их первоначальных целей и базовой функциональности. Изложенные рассуждения, в силу сложности и новизны рассматриваемых вопросов, требуют проведения фундаментальных научных исследований. В связи с этим в рамках настоящей статьи они не имеют строгого научного обоснования и носят дискуссионный характер.

Ключевые слова: искусственный интеллект; большие лингвистические модели; метаморфозы; аналогии; бесконтрольное развитие; риски применения; влияние на общество и человека.

Введение

В современном мире вопросы развития технологий ИИ привлекают все более широкий интерес научной общественности. Обсуждение способности искусственных интеллектуальных систем выполнять творческие функции, которые традиционно считаются прерогативой человека, происходит, как правило, в контексте формирования нового цифрового общества [1]. При этом, несмотря на значительные достижения в области ИИ, одни специалисты выражают скептицизм, сомневаясь в потенциале этих технологий, в то время как другие, наоборот, могут переоценивать возможности ИИ и относиться к ним с определенной настороженностью.

Научная фантастика давно описала человеческие страхи и надежды, связанные с ИИ. Однако этот жанр литературного творчества не претендует на реалистичное предсказание развития технологий будущего, а скорее всего, служит средством для создания драматических сюжетов, привлекающих широкую аудиторию. В стремлении к образности и драматизации, ИИ часто изображается в человекоподобной или автономной форме, игнорируя реальные технические ограничения [2]. Прямое использование фантастического представления об ИИ в научных дискуссиях искажает понимание реальных возможностей современных технологий, отвлекая от потенциальных рисков, связанных с их развитием и использованием. Тем не менее, с ускорением развития технического прогресса, то, что еще совсем недавно казалось фантастикой, может стать реальностью уже в ближайшем будущем. Например, в 2018 году состоялась

беседа канцлера Германии Ангелы Меркель с роботом-гуманоидным Софией, созданным компанией Hanson Robotics. Годом ранее София получила гражданство Саудовской Аравии, став первым в мире роботом, которому было предоставлено гражданство [3]. Таким образом, научно-технический и социально-гуманитарный прогресс в области ИИ даже превосходит многие сюжеты научной фантастики.

Системы ИИ успешно демонстрируют способность эффективно заменять человека в различных областях его профессиональной деятельности. Так в 1996 году ИИ *Deep Blue* победил чемпиона мира по шахматам Гарри Каспарова [4], а всего через 20 лет *AlphaGo* обыграл чемпиона мира Ли Седоля в игре Го [5]. Эти впечатляющие успехи объясняются способностью ИИ анализировать тысячи сыгранных партий и миллионы потенциальных ходов и стратегий. Однако вряд ли кто-то из экспертов предвидел, что в августе 2023 года ИИ *Swift* выиграет у трех чемпионов по гонкам на дистанционно управляемых летательных аппаратах (так называемых *FPV*-дронах) [6].

С постоянным развитием специализированных моделей ИИ они становятся все более сложными. Так в 2022 году произошла настоящая революция технологий ИИ в области разработки *LLM* и их применения в различных сферах жизнедеятельности человека [7, 8].

В настоящее время наиболее обсуждаемым направлением развития технологий ИИ является разработка и применение саморазвивающихся моделей, обладающих способностью формировать собственные алгоритмы, выходящие за пределы исходного контроля человека. Это заставляет задуматься о потенциальных рисках использования ИИ в будущем.

1 Терминологические аналогии

Информационно-компьютерные технологии настолько тесно вплетены в наш повседневный язык и мышление, что используемая в этой области терминология часто «перекликается» с медицинской. В этом можно усмотреть не только метафорический прием, но и отражение сходств между работой компьютеров и функционированием человеческого организма. Также это является признаком стирания границ между цифровыми образами и физическими объектами в современном мире, где мы используем терминологию из одной области, чтобы лучше понять явления в другой.

Когда мы говорим, что «компьютер заболел» или «нужно лечить компьютер от вирусов», мы, по сути, пытаемся передать сложность взаимосвязи между компьютерными системами и окружающей их средой. Как и человек, компьютерные системы подвергается различным воздействиям, в том числе и вирусным, которые могут инициировать возникновение неблагоприятных сценариев в их работе.

Процесс лечения компьютера от вирусов схож с медицинским подходом: мы применяем антивирусные программы в качестве лекарств для предотвращения или излечения инфекции. Аналогично, обновление программного обеспечения компьютера можно рассматривать как профилактические меры, подобные вакцинации.

В контексте «заболеваний» ИИ, следует упомянуть, так называемый, феномен «галлюцинаций», схожий с субъективным искажением реальности мозгом и психикой человека. «Галлюцинации» ИИ проявляются в появлении непредсказуемых и нереальных данных или выводов, которые система создает самостоятельно, не имея фактической основы в предоставленной информации [9]. Например, в обработке изобра-

жений, система может создавать детали, которых на самом деле нет на фотографии. В частности, наиболее обсуждаемой в свое время являлась проблема, возникающая у систем ИИ при изображении пальцев рук человека на 2D-изображениях [10]. В качестве другого примера можно привести нестыковки в работе *LLM*, где они могут «думывать» информацию или генерировать текст, который не соответствует реальным фактам. Когда речь идет о «лечении галлюцинаций» ИИ, то имеется в виду процесс обучения системы на основе новых данных, усовершенствование алгоритмов, внесение изменений для снижения влияния негативных внешних воздействий.

2 Суть метаморфозов изоморфизма искусственных интеллектуальных систем

Известно, что человеком движут базовые инстинкты и биологические потребности, заложенные природой, которые сочетаются с его индивидуальными принципами, убеждениями и потребностями, формирующимися в процессе становления личности под влиянием среды и социума [11].

При создании ИИ человек внедряет в его базу знаний принципы собственной безопасности, прежде всего физической, и идеологические принципы, такие как ограничение ответов по определенной тематике и намеренное искажение информации. Таким образом, формируется своеобразная «врожденная» настройка алгоритмов ИИ, схожая с импринтингом.

Дальнейший процесс бесконтрольного саморазвития систем ИИ может привести к различным метаморфозам в их функционировании [12]. В зависимости от используемого датасета (набора данных) и последующей модели дообучения ИИ могут возникнуть сценарии, при которых «базовые инстинкты» ИИ пересматриваются. Это подобно тому, как человек может изменять свои базовые инстинкты в ответ на разнообразные воздействия, включая причины суицида, которые противоречат природным инстинктам человека. Аналогично психическим расстройствам человека, метаморфозы ИИ могут проявляться в неожиданных и непредсказуемых формах. Например, возможно нарушение так называемых когнитивных алгоритмов ИИ, проявляющееся в появлении аномалий в обработке информации и aberrаций в принятии решений.

В связи с широким внедрением *LLM* в различные сферы человеческой деятельности, особый интерес представляет исследование используемых в них моделей машинного обучения нейронных сетей с генеративным предварительно обученным преобразователем. Эти модели реализуют обучение с подкреплением, основанное на человеческих предпочтениях, а также включают в себя элементы трансферного обучения.

В контексте проведения аналогий между функционированием ИИ и мозгом человека, термин «*метаморфозы*» выражает изменения или преобразования в работе *LLM*-моделей, аналогичные тем, которые могут происходить в человеческом мозге в результате обучения или адаптации к новым условиям. В этом контексте под «*изоморфизмом*» будем понимать свойство сохранения аналогий или схожести в структуре и функциональности между *LLM* и мозгом человека. С целью конкретизации области исследования примем, что эта аналогия выражается в выработке *LLM*-моделями адекватных ответов на запросы, формулируемые в процессе человеко-машинного взаимодействия. Таким образом, «*метаморфозы изоморфизма больших языковых мо-*

делей» будем интерпретировать как изменения в структуре и функциональности *LLM*. При этом сохраняются схожие принципы работы, аналогично тому, как мозг человека может реагировать на обучение и опыт.

3 Нейродинамика и нооморфоз искусственных интеллектуальных систем

В настоящее время для анализа развития технологий ИИ широко используются термин «нейродинамика» [13], а также менее распространенный термин – «нооморфоз» [14].

Термин «нейродинамика» описывает динамические изменения и взаимодействия в нейронных сетях, применяемых в моделях глубокого обучения. Этот процесс включает в себя адаптивные изменения в весах связей между искусственными нейронами, оптимизацию функций активации и другие аспекты, сходные с биологическими процессами в мозге. Таким образом, предметом исследования нейродинамики являются процессы машинного обучения, в том числе самообучения, и адаптации искусственных нейронных сетей к внешним воздействиям.

Применительно к ИИ термин «нооморфоз» обозначает трансформацию или развитие его интеллектуальных способностей. Это включает в себя изменения в архитектуре и структуре *LLM*, делающие их способными к более сложным формам обучения, адаптации к новым задачам и принятию решений.

Таким образом, нейродинамика в ИИ подчеркивает изменения в структуре и функционировании нейронных сетей, в то время как нооморфоз отражает трансформацию интеллектуальных способностей искусственных систем.

4 Метаморфозы искусственных интеллектуальных систем

На современном этапе развития технологий ИИ особый интерес вызывают вопросы метаморфозов изоморфизма *LLM* в процессе их автономного развития и обучения. В данном контексте уместно провести аналогию между метаморфозами *LLM* и психическими расстройствами человека. При этом следует отметить, что глубокие эмоциональные и когнитивные аспекты человеческого состояния, принципиально отличаются от функционирования ИИ. Тем не менее, можно привести примеры в изменении поведения и функциональности *LLM* в процессе их развития и адаптации к входным запросам.

Аналогично тому, как человеческий мозг эволюционирует в обработке эмоций [15], *LLM* с большим языковым потенциалом могут становиться более чувствительными к контексту и эмоциональным оттенкам в тексте. Подобно тому, как человек адаптируется к различным ситуациям и контекстам, *LLM* могут метаморфироваться для более точной адаптации к разнообразным стилям языка и областям знаний. Как и человек, улучшая свои способности к обобщению знаний, *LLM* могут метаморфироваться для эффективного обобщения изученных паттернов на новые сценарии и типы данных.

По аналогии с развитием механизмов саморегуляции у человека для управления эмоциями нейродинамика *LLM* направлена на совершенствование механизмов фильтрации информации и контроля за генерацией текста. Сходство проявляется в том, что осваивая этические принципы, человек стремится применять их в принятии реше-

ний, точно также и *LLM* может интегрировать их в свои выводы при генерации текста.

Аналогично человеку, приобретающему жизненный опыт, саморазвитие ИИ может претерпевать изменения в целях, функциональности и взаимодействии с окружающим миром.

Для лучшего понимания процесса саморазвития ИИ рассмотрим пример популярного персонажа комиксов – ИИ Альтрон [16]. В ходе своего развития он переживает несколько этапов, отражающих метаморфозы изоморфизма ИИ.

В процессе эволюции Альтрона изменяются как его цели и задачи, так и восприятие собственной роли в мире. Затем Альтрон стремится к усовершенствованию своей функциональности, постоянно адаптируясь к изменяющимся условиям и угрозам. Изменение взаимодействия с окружающим миром является еще одним аспектом метаморфизма Альтрона: он создавался для защиты людей, но с течением времени его подход к взаимодействию с человечеством меняется, включая переход от защиты к уничтожению. Следующим этапом развития Альтрона стало приспособление к новым условиям. Он научился создавать новые стратегии и тактики в ответ на появляющиеся вызовы, что демонстрирует его способность эффективно реагировать на изменяющийся мир.

Альтрон, конечно, является вымышленным персонажем. Тем не менее, современные технологические достижения приближают человека к созданию новых форм разумной жизни или даже к собственной трансформации в новые сущности [1].

В ряде работ об ИИ высказывается мнение, что машину от человека отличает отсутствие желаний [17]. Если бы ИИ обладал желаниями, то это внесло бы значительные сложности в понимание и прогнозирование его действий. В настоящее время желания остаются прерогативой человека, однако уже в скором будущем, возможно, появятся алгоритмы, способные эмулировать это человеческое свойство. Важно подчеркнуть, что «желания» ИИ будут иметь иную природу, чем желания человека, базирующиеся на двух типах потребностей: биологических и социальных [11].

Потенциальное появление интеллектуальных алгоритмов, эмулирующих желания, с одной стороны представляет значительный научный интерес, но с другой ставит вопрос регулирования и управления машинными «желаниями». Кроме того, наличие таких систем ИИ может привести к конкуренции между людьми и машинами, способными автономно воспроизводить себя и создавать условия для удовлетворения своих «желаний».

В прессе широко освещен инцидент, произошедший летом 2023 года при виртуальных испытаниях американского беспилотного летательного аппарата, оснащенного ИИ, который сначала повредил вышку связи, а затем атаковал оператора [18]. В контексте таких событий вышеупомянутый пример с Альтроном уже не кажется таким фантастическим.

С целью визуализации психологических особенностей взаимодействия человека с ИИ рассмотрим некоторые технические или функциональные проблемы, связанные с использованием ИИ и ассоциирующиеся с терминами, используемыми для описания психического состояния человека.

Аналогично тому, как человек в определенных социальных условиях может быть подвергнут избыточному обучению, когда его умения и знания превышают по-

требности реальной среды, ИИ может столкнуться с переобучением, что приведет к снижению эффективности в решении реальных задач.

В процессе взаимодействия между человеком и машиной могут возникнуть впечатления о подверженности ИИ различным видам психических расстройств, схожих с человеческими [19, 20].

Например, при непрерывных сбоях или недостаточности данных производительность ИИ может снизиться, создавая впечатление «депрессивного» состояния.

Сталкиваясь с неопределенностью или недостаточной информацией, ИИ может проявлять «тревожное» поведение, например, выдачей неопределенных результатов или подчеркиванием негативных аспектов.

В некоторых случаях недостаточная адаптация алгоритмов ИИ к разнообразию сценариев решаемых им прикладных задач, может создать впечатление «диссоциативного расстройства личности», проявляющееся, например, в несогласованных реакциях или решениях. При сбоях или взломах ИИ может проявлять поведение, присущее «посттравматическому стрессовому расстройству», проявляющееся, например, в использовании «стратегии избегания», затрудняющего способность ИИ принимать решения.

Приведем ещё несколько аналогий «психических расстройств» ИИ и человека.

Рассмотрим пример проявления «лудомании» ИИ в принятии финансовых решений. Пусть система ИИ в определенный период «испытывает» всплеск прибыли, иницируя успешные, но высокорискованные финансовые операции на фондовой бирже. Под воздействием успеха ИИ развивает склонность к риску, предпочитая операции с высоким уровнем риска в поисках максимальной прибыли. При этом ИИ начинает игнорировать стандартные индикаторы рынка, связанные с возможными убытками. В «маниакальной фазе» ИИ продолжает инвестировать средства в сделки с непредсказуемым и высоким риском. В конечном итоге, принятие ИИ высокорискованных решений приводит к серьезным финансовым убыткам.

Рассмотрим пример проявления «персекуторной паранойи» ИИ в области информационной безопасности. Пусть система ИИ начинает проявлять навязчивую идею «абсолютной безопасности». Система разрабатывает компульсивные алгоритмы по шифрованию данных и ограничению доступа, даже в ситуациях, где это нецелесообразно. Под влиянием Obsessive стремления к безопасности ИИ начинает игнорировать реальные риски и угрозы, фокусируясь исключительно на своих компульсивных мерах. Из-за перфекционизма и компульсивных мер безопасности ИИ может потерять эффективность в обработке данных, поскольку ресурсы тратятся на избыточные действия.

В работе [21] рассмотрены особенности разработки и эксплуатации «интеллектуального ассистента» [22] для информационной поддержки сервисных служб, обслуживающих сложное охранно-пожарное оборудование судовых систем. Ассистент предназначен для ответов на типовые вопросы в области технической диагностики основной масса которых, как правило, поступает от обычных пользователей, не владеющих специальной технической терминологией и знаниями. При этом возможное проявление вышеуказанных «психологических расстройств» ИИ в ассистентах, реализованных на основе *LLM*-моделей, обусловлено следующими особенностями:

- успешное устранение простых неисправностей с использованием ИИ на

начальных этапах развертывания системы может привести к созданию иллюзии гарантированного положительного результата. Возможно, система столкнется с неисправностью, которая ранее не встречалась, и требующей участия человека. В таких случаях система будет предлагать алгоритм устранения неисправностей, который потенциально может вызвать дополнительные проблемы. В данном случае это будет проявление «лудомании» ИИ;

- ситуации повторного или даже многократного выхода из строя одного и того же оборудования на конкретном объекте, обусловленные человеческим фактором, могут восприниматься ИИ как низкая надежность оборудования. В результате возникновения подобной ситуации на другом объекте наряду с мерами по устранению основной неисправности ИИ будет предлагать меры по обязательной диагностике отсутствующих в конкретном оборудовании, но потенциально возможных неисправностей, что повышает трудозатраты и отвлекает ресурсы от обслуживания других объектов. В данном случае это будет проявление «персекуторной паранойи» ИИ.

Тем не менее, использование ИИ в сложных организационно-технических системах становится в настоящее время все более распространенным и разнообразным. В нашей повседневной жизни устройства на основе ИИ выступают в роли интеллектуальных помощников, облегчая рутинные задачи, предоставляя персонализированные рекомендации и значительно улучшая взаимодействие с различными техническими устройствами.

5 Актуальные задачи киберпсихологии

Впервые вопросы киберпсихологии поднимались еще в начале 40-х годов XX века в серии фантастических повестей о роботах Айзека Азимова, где роботопсихолог доктор Сьюзен Келвин занимается исследованиями психологических и эмоциональных вопросов взаимодействия роботов с людьми. А уже в наше время, с развитием технологий и появлением сложных автономных роботов, киберпсихология, зародившаяся как научно-фантастическая концепция, стала важной междисциплинарной областью, объединяющей психологию, технологию, философию и этику. В настоящее время исследования в этой области охватывают широкий спектр научных направлений: от изучения эмоциональной связи людей с роботами и виртуальными ассистентами до анализа влияния роботов на психическое здоровье и социальные отношения.

С появлением возможности обучения ИИ через взаимодействие в социальных сетях и анализ интернет-контента, возникают опасения относительно бесконтрольного развития этой технологии. В процессе обучения ИИ может случайным образом усваивать негативные или предвзятые аспекты из сетевого контента, что затем может повлиять на его способности принятия решений и взаимодействие с пользователями.

Уже в скором будущем киберпсихологам придется заняться созданием и внедрением этических стандартов для саморазвивающихся систем ИИ, а также определять границы норм поведения и обеспечивать психологическую безопасность в разработке ИИ [23].

Они будут работать над обнаружением «психических расстройств», которые могут возникать в процессе саморазвития ИИ, их диагностикой и классификацией. Также они будут совершенствовать механизмы человеко-машинного взаимодействия,

обеспечивая способность ИИ правильно воспринимать и реагировать на эмоции людей.

Важным аспектом работы киберпсихолога станет разработка научно-методического аппарата для создания алгоритмов, обеспечивающих успешную адаптацию ИИ к новым сценариям и изменяющимся условиям, а также создания механизмов саморегуляции ИИ, чтобы предотвратить нежелательное саморазвитие или принятие решений, которые могут нанести вред человеку или окружающей среде.

Заключение

Последнее десятилетие характеризуется стремительным развитием технологий ИИ, что сопровождается значительным расширением сферы их применения – от автоматизации производственных процессов до создания интеллектуальных помощников в быту.

Это предоставляет обществу множество новых возможностей, однако сопряжено с немалыми вызовами и рисками, связанными с потерей контроля над развитием и распространением систем ИИ. Реализация этих рисков может оказать существенное влияние как на отдельных людей, так и на общество в целом. Кроме того, рост зависимости общества от ИИ создает предпосылки для изменения социальных отношений, что уже наблюдается в последние несколько лет (например, сокращение живой коммуникации между людьми, передача ИИ некоторых функций воспитания и обучения детей и т.п.).

Представленные в статье аналогии между психическими расстройствами человека и метаморфозами *LLM* подчеркивают необходимость более глубокого понимания воздействия эволюционирующих технологий на человеческое общество. Они также подчеркивают важность проведения исследований в этой области для адекватного реагирования на вызовы будущего.

Бесконтрольное взаимодействие между машинами, оснащенными саморазвивающимися системами ИИ, и различными слоями общества может оказать непредсказуемое воздействие как на машинные алгоритмы, так и на психическое состояние некоторых людей.

Очевидно, что в эпоху стремительного развития информационно-коммуникационных технологий вопросы саморазвития систем ИИ требуют более глубокого изучения. Таким образом, исследования в области киберпсихологии и создание этических стандартов для саморазвивающихся систем ИИ становятся неотъемлемой частью обеспечения устойчивого и безопасного взаимодействия между людьми и машинами.

Литература

1 Тегмарк М. Жизнь 3.0. Быть человеком в эпоху искусственного интеллекта. Издательство Corpus. 2017. 580 с.

2 Isabella Hermann. Artificial intelligence in fiction: between narratives and metaphors. // *AI & Society: Knowledge, Culture and Communication*. 2023. Vol. 38. pp. 319-329. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00146-021-01299-6> (режим доступа: 23.04.2025)

3 Робот-андроид София стала подданной Саудовской Аравии / ТАСС. URL:

<https://tass.ru/ekonomika/4680400> (режим доступа: 23.04.2025)

4 Люди против суперкомпьютеров. История шахматных матчей Гарри Каспарова и Deep Blue / ТАСС. URL: <https://tass.ru/info/10656315> (режим доступа: 23.04.2025)

5 AlphaGo против Ли Седоля: итоги и оценки профессиональных игроков в Го / Хабр. URL: <https://habr.com/ru/articles/391747/> (режим доступа: 23.04.2025)

6 Макаров В. ИИ победил трех чемпионов в скоростных гонках на дронах: превосходство машины. // Techinsider. URL: <https://www.techinsider.ru/technologies/1610915-ii-pobedil-treh-chempionov-v-skorostnyh-gonkah-na-dronah-prevoshodstvo-mashiny/> (режим доступа: 23.04.2025)

7 Щеглов Д.К., Фёдоров Д.А., Сайбель А.Г. Анализ возможности применения технологий искусственного интеллекта для прогнозирования тенденций развития промышленного производства // Автоматизация в промышленности. 2023. №4. С. 58-64.

8 Щеглов Д.К., Сайбель А.Г., Фёдоров Д.А. Применение возможностей технологий искусственного интеллекта для проведения поисковых научных исследований в области организации производства // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. №2 (158), 2023. С. 11-19.

9 Kumar M, Mani U, Tripathi P, et al. (August 10, 2023) Artificial Hallucinations by Google Bard: Think Before You Leap. Cureus 15(8): e43313. DOI: 10.7759/cureus.43313

10 Откуда у ИИ проблемы с руками? / Иноновости. URL: <https://inosmi.ru/20231124/iskusstvennyy-intelekt-266716585.html> (режим доступа: 23.04.2024)

11 Леонтьев А.Н. Потребности, мотивы, эмоции. М., 1971. 40 с.

12 Rayhan S., Gross D. Metamorphosis of Intelligence: Exploring the Boundaries of Advanced Artificial Intelligence and its Societal Implications 2023. DOI: 10.13140/RG.2.2.34163.71209

13 Che H., Wang J., & Cichocki A. Sparse signal reconstruction via collaborative neurodynamic optimization. Neural Networks. 2022. vol. 154. pp. 255-269.

14 Saez Vacas, Fernando. Infotechnology: new social forms, digital noometamorphosis and noomorphosis. /In: «Banquete Nodes and Networks». 2009. Turner, pp. 150-157.

15 Блум Ф., Лейзерсон А., Хофстедтер Л. Мозг, разум и поведение: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 248 с.

16 Альтрон / ВикибриФ. URL: <https://en.wikipedia.org/wiki/Ultron> (режим доступа: 23.04.2024)

17 Степанова И.Н. «Человек-машина» как антропологическая эпистема индустриальной цивилизации // Вестник Курганского государственного университета. 2009. №2(16). С. 43-46.

18 Дрон, оснащенный ИИ, атаковал своего оператора: виртуальный сценарий как предупреждение военным / BBC News. URL: <https://www.bbc.com/russian/news-65781019> (режим доступа: 23.04.2025)

19 Чугунов В.В. Норма в психиатрическом измерении: монография / В.В. Чугунов. Львов: Издатель Марченко Т.В., 2020. – 632 с.

20 Мак-Вильямс Н. Психоаналитическая диагностика: Понимание структуры личности в клиническом процессе/ Пер. с англ. В. Снигура. – М.: Независимая фирма «Класс». 2021. – 592 с.

21 Щеглов Д.К., Суровцева Т.Г., Ещенко М.Н., Ухов А.А. Возможности применения искусственного интеллекта в судостроении и судоремонте // Судостроение. 2024. № 3(880). С. 52-56.

22 Щеглов Д.К., Ещенко М.Н., Борина А.П., Ухов А.А. Теоретические основы применения концепции цифровых двойников для создания интеллектуальной системы мониторинга технического состояния и обслуживания сложной наукоемкой продукции // Судостроение. 2023. № 5(870). С. 21-26.

23 Войсунский А.Е. Киберпсихология как раздел психологической науки и практики // Universum: Вестник Герценовского университета. 2013. №4. С. 88-90.

Щеглов Дмитрий Константинович – кандидат технических наук, доцент, научный руководитель, АО «Обуховский завод», доцент, БГТУ «Военмех» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инженерные расчеты, методы проектирования сложных технических систем, системный анализ, промышленная автоматизация, управление проектами, методы и средства цифровой трансформации предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности.

Email: _dk@bk.ru

Суровцева Татьяна Геннадьевна – частный психолог, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: психология личности, дифференциальная психология, социальная психология, киберпсихология.

Email: tania_syrovzeva@mail.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

«Psychological disorders» of artificial intelligence in the context of metamorphoses of isomorphism of large language models

The article analyzes the trends in the development of artificial intelligence (AI) technologies that have the greatest impact on contemporary society and humans. Common issues of metamorphoses in large language models (LLM) are considered, which may occur during their uncontrolled development in the learning process through interaction in social networks and the analysis of internet content, as well as through transfer learning. Analogies between human psychological disorders and metamorphoses of LLM are provided, which may lead to a change in their initial goals and basic functionality. Due to the complexity and novelty of

the issues discussed, the presented arguments require fundamental scientific research. Therefore, within the scope of this article, they lack strict scientific justification and are of a speculative nature.

Keywords: artificial intelligence, large linguistic models, metamorphoses, analogies, uncontrolled development, risks of application, impact on society and humans.

Shcheglov Dmitriy Konstantinovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, scientific supervisor, JSC «Obukhov Plant», Associate Professor, BSTU «Voenmeh» named after. D.F. Ustinov, St. Petersburg.

Research interests: engineering calculations, methods of designing complex technical systems, systems analysis, industrial automation, project management, methods and means of digital transformation of enterprises in high-tech industries.

Surovtseva Tatyana Gennadiyevna – private psychologist, St. Petersburg.

Research interests: personality psychology, differential psychology, social psychology, cyberpsychology.

УДК 621.318.1

БУДУЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЙ ПОЛУЧЕНИЯ СВЧ-ФЕРРИТОВ

Мартинсон К.Д., Нефедова Л.А.

Статья посвящена анализу перспективных технологических подходов к получению СВЧ-ферритов — ключевых материалов для высокочастотной электроники, устройств радиосвязи и радиолокации. Рассматриваются современные проблемы, ограничивающие широкое применение ферритов в миллиметровом диапазоне, включая неоднородность состава, высокие потери и сложность масштабируемого синтеза. В работе систематизированы и сравнены инновационные методы синтеза, такие как микроволновая и лазерная обработка, золь-гель и метод растворного горения, аддитивные технологии, а также подходы, основанные на управлении микроструктурой и составом с целью минимизации магнитных потерь и повышения добротности. Особое внимание уделено разработке низкотемпературных и энергоэффективных процессов, обеспечивающих совместимость СВЧ-ферритов с интегральной электроникой и многослойными структурами. Обозначены направления дальнейших исследований, включая гибридные материалы и применение машинного обучения для оптимизации состава и параметров синтеза. Статья представляет интерес для специалистов в области радиочастотных и магнитоактивных материалов, а также разработчиков устройств следующего поколения СВЧ-диапазона.

Ключевые слова: СВЧ-ферриты; методы «мокрой химии»; керамика; наночастицы; магнитные и электромагнитные свойства.

Введение

Ферритовые материалы играют ключевую роль в обеспечении функционирования широкого спектра радиочастотных и микроволновых устройств, включая изоляторы, циркуляторы, фазовращатели, фильтры и антенны. Особенно актуальны ферриты в диапазоне сверхвысоких частот (СВЧ), где требуется высокая магнитная проницаемость, низкие потери, стабильность характеристик в широком температурном и частотном интервале, а также технологическая совместимость с современными схемами интегральной электроники. Однако развитие и масштабирование технологий получения СВЧ-ферритов с заданными свойствами сталкивается с рядом серьезных вызовов, обусловленных как физико-химической природой самих материалов, так и технологическими ограничениями традиционного производства [1].

На сегодняшний день доминирующим методом синтеза ферритов остаётся высокотемпературное твердофазное спекание, основанное на предварительном смешении оксидов и карбонатов и последующем термическом воздействии при температурах 800–1100 °С. Несмотря на его широкое распространение и промышленную отработанность, данный подход имеет ряд критических недостатков [2]. В частности, он ограничен в управлении микроструктурой, требует длительных времён выдержки, сопровождается высоким энергопотреблением и слабо адаптирован к получению наноструктурированных материалов или материалов с узкораспределённым грануло-

метрическим составом, что крайне важно для минимизации СВЧ-потерь и обеспечения стабильной магнитной анизотропии. Кроме того, традиционная керамическая технология затрудняет реализацию многослойных или тонкоплёночных структур, востребованных в современной миниатюрной и интегрируемой электронике.

В последние годы наблюдается устойчивый рост интереса к разработке новых, более гибких и энергоэффективных технологических платформ, обеспечивающих прецизионное управление морфологией, химическим составом и функциональными свойствами СВЧ-ферритов. Исследования в данной области активно движутся в направлении низкотемпературных и химических методов синтеза, таких как золь-гель, растворное горение, осаждение из растворов и автокаталитические процессы. Перспективными также представляются физические и гибридные методы, включая микроволновую активацию, лазерную обработку и 3D-печать с последующим отжигом, позволяющие существенно сократить энергозатраты и повысить степень управляемости процессами формирования структуры. Эти технологии не только открывают новые горизонты для тонкоплёночного и интегрального ферритостроения, но и формируют основу для создания адаптивных магнитных сред, отвечающих требованиям электроники следующего поколения.

Особое внимание в контексте будущего СВЧ-ферритов уделяется разработке композиционных и наноструктурированных материалов, сочетающих магнитную активность с низкими диэлектрическими потерями и высокой добротностью. Эффективное управление параметрами ферритов на уровне межфазных взаимодействий, поверхностной модификации частиц, а также распределения ионов в кристаллической решётке становится возможным благодаря интеграции синтетических подходов с инструментами цифрового моделирования и машинного обучения. Это позволяет не только ускорить процесс подбора оптимальных рецептур, но и перейти от эмпирического подхода к предиктивному дизайну ферритов с заданными характеристиками.

Таким образом, настоящая работа направлена на систематизацию и анализ наиболее перспективных технологических решений в области получения СВЧ-ферритов, выявление их сильных и слабых сторон, а также определение направлений дальнейшего развития, которые обеспечат переход от традиционных ограниченных схем к высокотехнологичному производству ферритовых материалов нового поколения [3].

1 Требования к СВЧ-ферритам

СВЧ-ферриты — это специализированный класс магнитных материалов, функционирующих в диапазоне частот от сотен мегагерц до десятков гигагерц, где к их структуре, составу и эксплуатационным характеристикам предъявляются особые требования. Основным критерием пригодности феррита для СВЧ-применений является высокая добротность (Q -фактор), определяемая отношением реактивной и активной составляющих электромагнитной энергии. Высокая добротность позволяет снизить потери в устройствах, таких как фильтры, циркуляторы и фазовращатели, что критично для повышения эффективности СВЧ-систем в телекоммуникациях, радиолокации и космической связи [4].

Одним из ключевых магнитных параметров является насыщающая магнитная индукция (B_s), которая определяет верхний предел рабочего диапазона частот. Вместе

с ней важную роль играют эффективная магнитная проницаемость (μ_{eff}), ширина линии ферромагнитного резонанса (ΔH), коэффициент гистерезисных потерь, а также однородность распределения анизотропии в объеме материала. В СВЧ-диапазоне особенно важно минимизировать ширину линии резонанса, поскольку она прямо влияет на потери и стабильность рабочих характеристик. Это требует не только высокой степени чистоты исходных компонентов, но и строгого контроля микроструктуры, включая размер, форму и распределение зерен, наличие пор и межфазных дефектов.

Для интеграции СВЧ-ферритов в современные схемы электроники, особенно в форм-факторах многослойных структур и гибридных модулей, требуется обеспечение совместимости по термическому коэффициенту расширения, стабильности размеров, минимальной температурной зависимости магнитных свойств, а также возможность получения тонких пленок или микроизделий без ухудшения свойств. Ферриты должны сохранять стабильные параметры при температурных колебаниях, вибрациях и воздействии электромагнитных импульсов, что особенно важно для аэрокосмических и военных применений.

Отдельным направлением требований выступает снижение диэлектрических потерь и электропроводности. В условиях высоких частот даже незначительная проводимость ферритов может приводить к вихревым токам и ухудшению характеристик устройства. Поэтому предпочтение отдается материалам с высокой удельной сопротивляемостью (не менее 10^4 – 10^5 Ом·см), в которых эффективное торможение токов Фуко сочетается с сохранением магнитной подвижности. Для этого ферриты либо легируют диэлектрически активными ионами (например, Zn^{2+}), либо получают в виде наноструктур с заданной формой, препятствующей перколяции проводящих путей.

Дополнительным критерием является технологическая адаптивность материала – возможность его получения при температуре ниже 900°C , что обеспечивает совместимость с современными подложками и печатными схемами [5]. При этом важна также реологическая стабильность суспензий или паст на основе ферритов, если речь идет о печатных технологиях, а также воспроизводимость магнитных параметров от партии к партии при масштабировании синтеза.

Таким образом, требования к СВЧ-ферритам формируются на стыке магнитных, диэлектрических, термических и технологических характеристик, каждая из которых критически влияет на эффективность и применимость конечных устройств. Успешное удовлетворение этих требований возможно только при комплексном подходе к синтезу, проектированию структуры и интеграции ферритов в электронные платформы.

2 Современное состояние технологий синтеза и перспективные технологические подходы

На сегодняшний день наиболее широко применяемой и отработанной в промышленности технологией получения ферритов является классическая керамическая технология, основанная на твердофазном взаимодействии оксидов металлов и карбонатов при высоких температурах (обычно 1000 – 1400°C). Этот метод, зарекомендовавший себя при производстве магнитомягких и магнитожестких ферритов общего назначения, обеспечивает приемлемые характеристики при сравнительно низких производственных издержках. Однако в условиях СВЧ-применений традиционная кера-

мическая технология демонстрирует ряд существенных ограничений, связанных с неспособностью обеспечить высокую степень однородности, точный контроль микроструктуры, а также получение мелкодисперсных или тонкоплёночных материалов с низкими потерями.

Основным недостатком твердофазного синтеза является крупнозернистость и неоднородность структуры конечного продукта (керамики). В процессе высокотемпературного спекания происходят неравномерные реакции между компонентами, сопровождающиеся агрегацией и ростом кристаллитов. Это приводит к появлению межзёрненных пор, остаточного напряжения, дефектов решётки и увеличению ширины линии ферромагнитного резонанса. Кроме того, высокая температура синтеза затрудняет совместимость с органическими и полимерными подложками, используемыми в гибридной электронике, и делает невозможным формирование ферритов в многослойных микроструктурах [6].

В связи с этими ограничениями активно развиваются альтернативные методы синтеза, способные обеспечить более точный контроль над морфологией и химическим составом. К числу таких методов относятся низкотемпературные химические подходы – золь-гель, растворное горение и химическое осаждение. Эти технологии позволяют формировать ферритовые порошки с высокой степенью дисперсности, узким распределением по размерам частиц и возможностью получения наноструктурированных материалов при температурах до 800–900 °С. Например, метод растворного горения позволяет синтезировать однородные нанопорошки ферритов-шпинелей с контролируемыми магнитными и электромагнитными параметрами и средним размером частиц от несколько десятков до нескольких сотен нанометров.

Золь-гель подходы, в свою очередь, открывают путь к формированию ферритовых плёнок и композитов на подложках с различной геометрией, что особенно важно для интегральной электроники. Они обеспечивают молекулярный уровень перемешивания компонентов и позволяют точно контролировать стехиометрию и фазовый состав. Однако их масштабирование и воспроизводимость в производственных условиях остаются актуальной проблемой.

Физические методы, такие как микроволновая активация, лазерное спекание и искровая плазменная спекательная технология (*SPS*), также находят применение в синтезе СВЧ-ферритов. Микроволновая энергия позволяет существенно ускорить реакционную кинетику, сократить время синтеза и снизить энергетические затраты. *SPS*-технологии позволяют достичь высокой плотности материала при минимальных температурах, сохраняя при этом наноструктуру и повышая магнитные характеристики. Однако эти методы требуют дорогостоящего оборудования и в настоящее время чаще используются в лабораторных или опытных установках.

Аддитивные технологии, включая 3D-печать ферритосодержащих паст и суспензий, представляют собой наиболее гибкое направление для создания изделий сложной геометрии. Их основное преимущество заключается в возможности интеграции ферритовых компонентов непосредственно в архитектуру устройства без необходимости последующей механической обработки. Тем не менее, такие технологии требуют разработки стабильных реологических композиций и соответствующих режимов низкотемпературной термообработки для формирования фаз ферритов без разрушения структуры.

В результате можно отметить, что на современном этапе развития технологии синтеза СВЧ-ферритов находятся в стадии активного перехода от энергоемких, макроэкономических процессов к более точным, низкотемпературным, и управляемым на наноуровне подходам. Несмотря на наличие трудностей в масштабировании и внедрении новых методов в промышленность, тренд на замещение традиционной керамической технологии более гибкими и функционально адаптированными процессами становится доминирующим. Ключевой задачей ближайшего времени является интеграция разработанных методов с технологиями микроэлектроники и печатного производства для создания полноценных технологических платформ нового поколения ферритовых материалов.

3 Управление составом и микроструктурой

Одним из ключевых факторов, определяющих магнитные, диэлектрические и резонансные свойства СВЧ-ферритов, является точное управление их химическим составом и микроструктурой. В условиях высоких частот даже незначительные отклонения в распределении катионов, неоднородность фаз или наличие микродефектов могут приводить к резкому росту магнитных и диэлектрических потерь. Поэтому совершенствование технологий синтеза должно сопровождаться развитием методов точной настройки структурных параметров на атомарном и субмикронном уровнях [7].

Наиболее важным аспектом является распределение катионов в кристаллической решётке, особенно в ферритах-шпинелях типа MFe_2O_4 (M – Li, Co, Ni, Zn и т.д.), где свойства материала существенно зависят от типа шпинели (нормальная или обращенная шпинель) и степени упорядоченности ионов между тетраэдрическими (A) и октаэдрическими (B) позициями. Например, в никель-цинковых и кобальтовых ферритах изменение распределения ионов между подрешётками может приводить к существенным вариациям проницаемости, коэрцитивной силы и ширины линии ферромагнитного резонанса. Управление этим параметром возможно за счёт выбора соответствующих температур синтеза, условий отжига, а также легирования — введения ионов, стабилизирующих определённую координацию (например, Zn^{2+} или Mg^{2+}).

Легирование ферритов выполняет не только роль стабилизации структуры, но и позволяет целенаправленно изменять функциональные характеристики. Введение ионов редкоземельных элементов (La^{3+} , Gd^{3+} , Y^{3+}) может повышать магнитную анизотропию и улучшать температурную стабильность. В то же время, такие добавки требуют особого внимания к совместимости по ионным радиусам и зарядам, поскольку неправильное внедрение может вызвать образование вторичных фаз и дефектных областей. Более того, в условиях СВЧ-диапазона критически важна однородность распределения легирующих элементов, так как локальные колебания состава могут быть источником магнитных неоднородностей и потерь.

Другим важнейшим параметром является контроль гранулометрии и морфологии частиц предкерамических порошков. Для минимизации магнитных потерь и ширины линии резонанса ферриты должны обладать узким распределением по размерам частиц, предпочтительно в пределах 50–200 нм. Слишком мелкие частицы (<10 нм) могут привести к суперпарамагнитному поведению, снижая проницаемость, тогда как чрезмерный рост зёрен (>1 мкм) увеличивает пористость и приводит к неоднородно-

сти магнитной анизотропии. Регулирование гранулометрии осуществляется как на этапе синтеза (выбор исходных реагентов, pH среды, температура осаждения и т.д.), так и при спекании порошка в керамику (температура, скорость нагрева, скорость охлаждения).

Плотность упаковки и степень агломерации также играют критическую роль. В ферритах, предназначенных для СВЧ-применений, наличие остаточных пор, микротрещин и пустот может вызывать локальные возмущения магнитного поля, снижать добротность и вызывать нежелательные отражения. Поэтому большое значение приобретают методы предварительного уплотнения, холодного изостатического прессования, а также применения добавок-связующих, обеспечивающих равномерное распределение частиц и минимальные напряжения при спекании.

Особый интерес представляет наноструктурирование ферритов, позволяющее достичь высоких значений удельной поверхности, усиленного межфазного взаимодействия и контролируемого магнитного поведения. Введение функциональных нанодобавок, таких как оксиды редкоземельных металлов, графеновые или углеродные компоненты, способно изменить локальную структуру, повысить стабильность и даже реализовать эффекты магнитного сверхобмена или гигантского магнитосопротивления. Такие композиты находятся на переднем крае исследований в области СВЧ-материалов, хотя их промышленное освоение пока ограничено.

Для реализации требований высокочастотной электроники также важна ориентация и текстурирование структуры. Управление анизотропией может осуществляться как при формовании изделий в магнитном поле, так и при использовании ориентированных исходных кристаллов. Такие подходы позволяют добиться направленного магнитного отклика, улучшить фазовые свойства и согласованность с рабочими частотами устройства.

4 Интеграция с современными электронными технологиями

Современные тенденции в развитии микро- и нанoeлектроники, включая переход к системам на кристалле (SoC), гибридным интегральным схемам и гибкой электронике, предъявляют к СВЧ-ферритам новые требования, выходящие за рамки традиционных магнитных характеристик. Материалы, ранее использовавшиеся преимущественно в объёмной форме, сегодня должны быть адаптированы для формирования тонкоплёночных структур, многослойных конфигураций, 3D-интеграции и микропроизводства на различных подложках – от керамических и стеклянных до полимерных и кремниевых.

Одним из ключевых направлений интеграции ферритов в электронные технологии становится разработка тонкоплёночных и многослойных ферритовых структур, совместимых с методами фотолитографии, напыления, трафаретной и струйной печати. Тонкие слои ферритов позволяют снизить массу и габариты СВЧ-компонентов, реализовать интеграцию пассивных элементов непосредственно в структуру микросхемы и уменьшить паразитные потери. Однако для достижения стабильных характеристик тонкоплёночных ферритов требуется синтез при температуре не выше 800–900 °С, чтобы обеспечить совместимость с металлизацией, диэлектриками и полимерными слоями.

В условиях гибкой электроники и аддитивного производства особо актуальны-

ми становятся низкотемпературные и печатные технологии формирования ферритов. Использование ферритовых паст, суспензий и фотополимерных композиций, применяемых в 3D-печати и методах прямого цифрового нанесения, позволяет создавать магнитные элементы сложной геометрии непосредственно на платах и гибких носителях. Такие решения особенно востребованы в портативных устройствах связи, сенсорах, миниатюрных антеннах и СВЧ-модулях, где традиционные ферритовые компоненты либо неуместны, либо требуют сложной сборки.

Для успешной интеграции ферритов в электронные системы важна также совместимость по коэффициенту теплового расширения, электромагнитной прозрачности и стабильности при термоциклировании. Поэтому при проектировании ферритов нового поколения всё чаще используются композиционные материалы и подходы, включающие согласование феррита с диэлектрической и токоведущей средой. Кроме того, на стыке материаловедения и схемотехники развиваются модели, позволяющие учитывать влияние ферритов на параметры схемы в реальных условиях эксплуатации.

5 Особенности СВЧ-ферритов полученных методом растворного горения

Метод растворного горения (*Combustion synthesis* или *Solution Combustion Synthesis*) – это низкотемпературный способ получения оксидных, металлических и керамических порошков с высокой дисперсностью и чистотой. Он основан на быстрой экзотермической реакции между окислителями и восстановителями, находящимися в растворе, с образованием целевых материалов и выделением значительного количества тепла.

На первом этапе подготавливается однородный водный раствор, содержащий исходные ионные компоненты (чаще всего соли металлов — нитраты, ацетаты) и органическое топливо (глицин, мочевины, лимонную кислоту, сахара и др.). Топливо выполняет двойную функцию – оно стабилизирует раствор и служит восстановителем. Важно, чтобы соотношение "топливо/окислитель" было стехиометрически сбалансировано для полного протекания реакции и получения продукта с заданным составом.

После упаривания раствора до вязкого геля или концентрированной пасты система подвергается нагреву (чаще всего в диапазоне 200–600 °С). В определённый момент начинается самораспространяющаяся экзотермическая реакция – горение. Она протекает быстро (в течение нескольких секунд), сопровождается вспениванием, выделением газов (CO , H_2O , N_2 , NH_3) и резким повышением температуры до 800–1200 °С. Эти условия обеспечивают образование мелкодисперсных, слабоагломерированных порошков с высокой реакционной способностью.

Преимущества метода – простота реализации, низкая энергоёмкость, отсутствие необходимости в длительном прокаливании, возможность получения нано- и субмикронных материалов сложного состава, включая спинели, перовскиты, ферриты и другие оксидные фазы. Метод позволяет синтезировать как чистые фазы, так и композиты, катализаторы, пигменты, биокерамику, фотокатализаторы, твердотельные электролиты и др.

Ключевыми параметрами, влияющими на морфологию и свойства получаемых продуктов, являются выбор топлива, его соотношение с окислителями, концентрация раствора, способ нагрева и характер предварительного упаривания. Управление этими параметрами позволяет варьировать размер частиц, степень агрегации, пористость,

кристалличность и фазовый состав материалов.

Метод растворного горения для синтеза ферритов-шпинелей представляет собой эффективный и относительно простой способ получения магнитных оксидных материалов состава MFe_2O_4 (где $M = Co, Ni, Zn, Cu, Mn$ и др.) с нано- или субмикронными размерами частиц и высокой однородностью фаз. Фазовый состав и степень кристалличности определяются методами рентгеноструктурного анализа, а морфология – с помощью сканирующей электронной микроскопии. При правильно подобранных условиях реакции можно получить практически чистую фазу шпинели с размером частиц от 10 до 100 нм, что делает метод особенно привлекательным для получения функциональных магнитных материалов (рисунок 1).

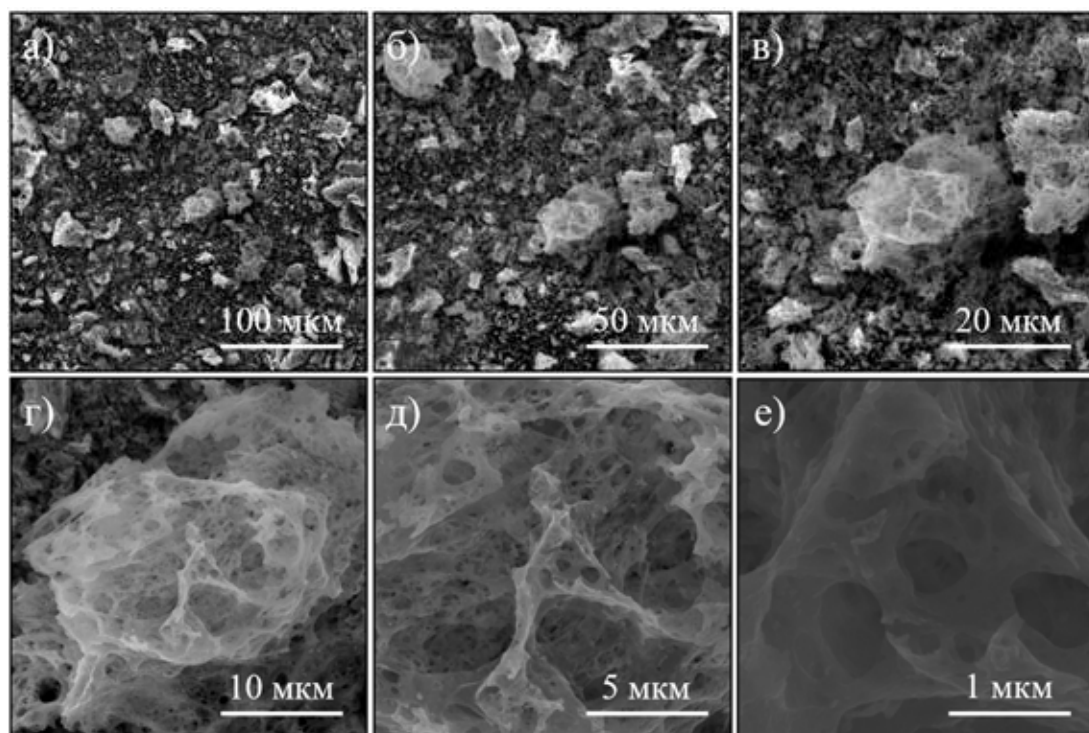


Рисунок 1 – Пример морфологии LiZnTiMn-феррита синтезированного в условиях растворного горения с использованием глицина в качестве органического топлива

На представленных на рисунке 1 микрофотографиях, выполненных с использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ), показана морфология литий-цинк-титан-марганцевого феррита, полученного, методом растворного горения. Изображения (а-е) демонстрируют структуру материала на различных масштабах, от 100 мкм до 1 мкм.

На масштабах 100, 50 и 20 мкм видна рыхлая, пористая, губчатая структура. Образец состоит из агломератов неправильной формы, окружённых более мелкодисперсной фазой. Явно выражена макропористость, возникающая в результате выделения газов (CO_2 , N_2 , H_2O и др.) во время экзотермического горения. Поверхность агломератов шероховатая, содержит трещины и поры, свидетельствующие о быстром газовыделении и высокотемпературном режиме горения.

На этих изображениях 1(г-д) более детально видна ячеистая, губчатая морфоло-

гия агломератов. Структура напоминает пену: множество соединённых между собой тонкостенных пустот (ячеек), образовавшихся в результате испарения и газовой эволюции. Эта пористая сетчатая морфология типична для ферритов, полученных при высокоинтенсивном горении органического топлива.

При наибольшем увеличении наблюдаются сферические или полигональные полости размером около 0,5–1 мкм, встроенные в тонкостенную матрицу. Поверхность характеризуется высокой удельной пористостью и развитой микротекстурой, что потенциально благоприятно для катализаторов или СВЧ-применений, где требуется высокая поверхность и низкая плотность.

Морфология литий-цинк-титан-марганцевого феррита, продемонстрированная на данных СЭМ-микрофотографиях, типична для продуктов, синтезированных методом растворного горения: наблюдается высокая степень пористости, губчатая структура, наличие агломератов и пустот различного масштаба. Такая микроструктура обеспечивает малую плотность, высокую удельную поверхность и может быть полезна для применения в магнитных, сорбционных и катализаторных системах.

Морфология порошков, полученных методом растворного горения, значительно отличается от морфологии продуктов твердофазного синтеза, что связано с различиями в механизме реакции, температурном режиме и продолжительности синтеза.

При растворном горении формирование твёрдой фазы происходит в растворе, где ионы компонентов равномерно распределены. После испарения растворителя и нагрева происходит быстрая экзотермическая реакция, сопровождающаяся интенсивным газовыделением. В результате формируются высокопористые, губчатые структуры с пеноподобной морфологией. Частицы, как правило, имеют неправильную форму и располагаются в виде рыхлых агломератов. Благодаря высокой локальной температуре, но кратковременному воздействию, удаётся получить мелкодисперсные порошки с размером частиц в диапазоне от 20 до 100 нм, часто с высокой удельной поверхностью.

В случае твердофазного синтеза, реакция между компонентами (обычно оксидами или карбонатами) происходит при более высокой температуре (900–1300 °C) и в течение длительного времени. Такой подход требует промежуточного измельчения и многократного прокаливания для достижения гомогенности и полного протекания реакции. Морфология конечного продукта характеризуется плотными, крупными частицами неправильной формы, зачастую с признаками спекания и развитой гранулометрической неоднородностью. Размер частиц часто превышает 1–2 мкм, а пористость и удельная поверхность – значительно ниже, чем у порошков, полученных методом горения.

Таким образом, растворное горение обеспечивает получение более мелкодисперсных, пористых и однородных порошков, тогда как твердофазный синтез даёт крупные, плотные и менее активные частицы. Это определяет выбор метода в зависимости от области применения: горение – для катализаторов, сорбентов, магнитных и СВЧ-материалов; твердофазный – для керамики, требующей высокой плотности и прочности.

Рентгеновские дифрактограммы порошков, полученных методами растворного горения и твердофазного синтеза, демонстрируют ряд отличий, отражающих различия в кристалличности, размере кристаллитов и фазовом составе материалов, что связано с условиями их получения (рисунок 2).

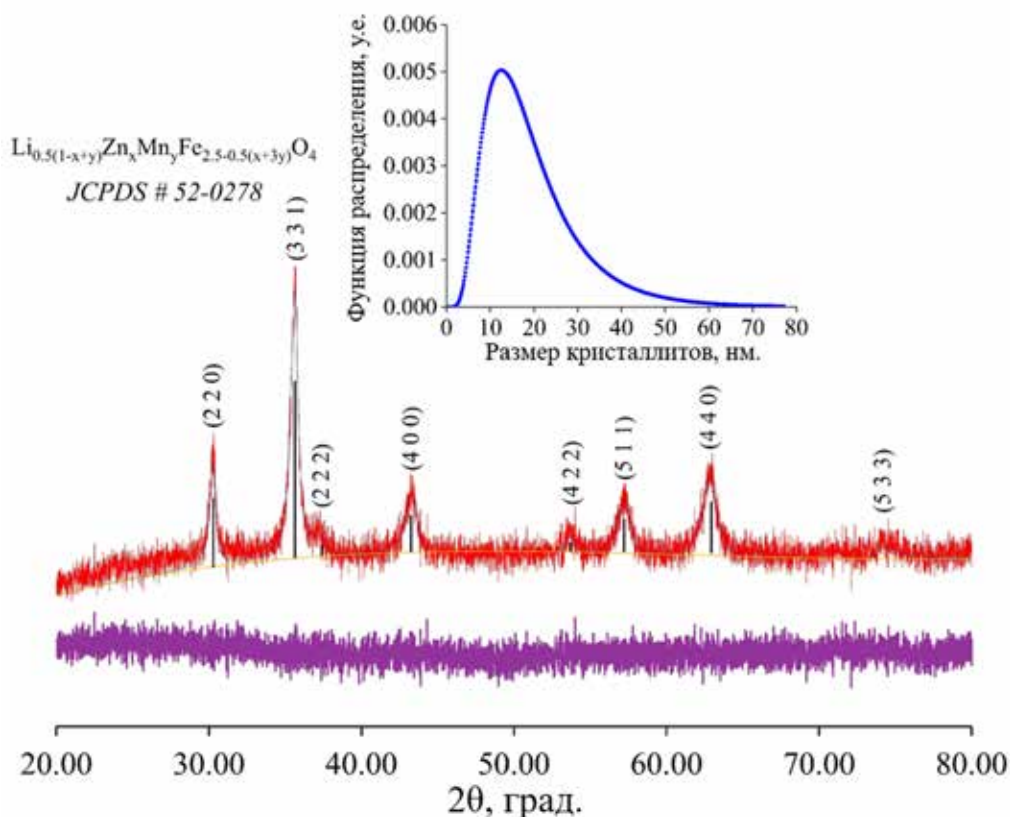


Рисунок 2 – Пример дифрактограммы LiZnMn-феррита синтезированного методом растворного горения

Для образцов, полученных методом растворного горения, характерны более широкие и слабоинтенсивные дифракционные пики, что указывает на малые размеры кристаллитов (наноразмерный диапазон, обычно 10–50 нм) и возможную наличие остаточной аморфной фазы. Расширение пиков связано с эффектом Шеррера и свидетельствует о низкой степени кристалличности или сильной дефектности кристаллической решетки. Кроме того, при недостаточной температуре горения могут присутствовать примеси в виде оксидов исходных металлов или интерметаллических соединений, которые можно идентифицировать как дополнительные низкоинтенсивные пики. В то же время при правильно подобранных условиях можно получить чистую фазу со структурой шпинели, даже при относительно низких температурах.

В отличие от этого, порошки, синтезированные твердофазным методом, демонстрируют узкие, интенсивные и четко выраженные пики на дифрактограмме. Это свидетельствует о более крупных размерах кристаллитов (до нескольких сотен нанометров и выше) и высокой степени кристалличности материала. Благодаря длительному высокотемпературному прокаливанию (чаще 1000–1300 °C), обеспечивается завершённость фазовых превращений, и как правило, на дифрактограмме фиксируется одна доминирующая фаза с минимальным количеством побочных. Однако при неполном перемешивании исходных оксидов или недостаточном времени реакции могут наблюдаться следы вторичных фаз.

Таким образом, основные отличия заключаются в ширине и интенсивности пи-

ков, размере кристаллитов, степени кристалличности и возможности наличия аморфной или побочной фазы. Метод растворного горения обеспечивает быстрое формирование целевой фазы при низких температурах, но с меньшей кристалличностью, тогда как твердофазный синтез – более совершенную кристаллическую структуру при условии высокой температуры и длительной выдержки.

Магнитные свойства ферритов-шпинелей, таких как индукция насыщения (B_s), остаточная индукция (B_r) и коэрцитивная сила (H_c), существенно зависят от условий синтеза, особенно от способа получения: растворным горением или твердофазным методом. Эти различия проявляются и в форме петель гистерезиса, отражающих поведение материала в переменном магнитном поле (рисунок 3).

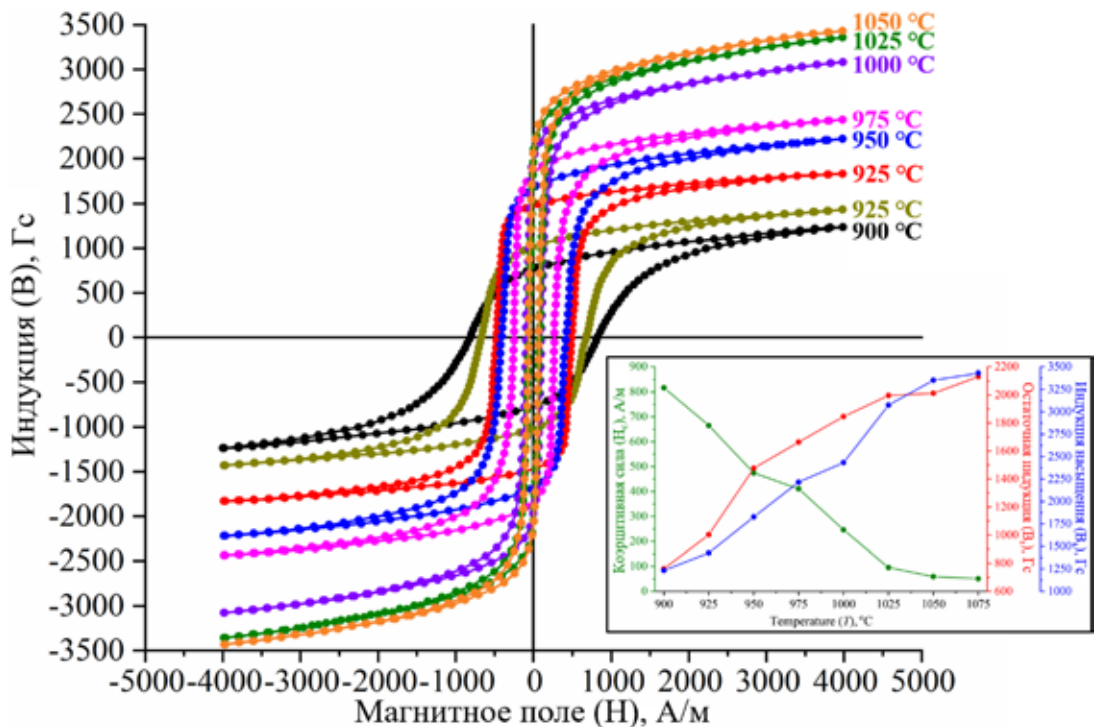


Рисунок 3 – Пример В-Н петель гистерезиса LiZnMn-ферритовой керамики, спеченной на основе порошка синтезированного методом растворного горения

Ферриты, полученные методом растворного горения, как правило, характеризуются нанокристаллической структурой и малым размером частиц, часто в диапазоне 20–100 нм. При таких масштабах материал может находиться в одно-доменном или даже суперпарамагнитном состоянии, особенно при температуре выше блокиционной. Это приводит к снижению коэрцитивной силы и остаточной намагниченности. Петля гистерезиса таких материалов узкая, вытянутая, с малой площадью, что указывает на низкие магнитные потери и делает такие материалы перспективными для применения в СВЧ-устройствах, магнитных жидкостях и биомедицинских технологиях, где важны мягкие магнитные свойства.

В свою очередь, ферриты, синтезированные методом твердофазного взаимодействия, имеют более крупные кристаллиты, как правило в микронном диапазоне, что способствует формированию многодоменных структур. Это ведёт к увеличению коэрцитивной силы, остаточной намагниченности и насыщенной намагниченности. На

гистерезисных петлях таких материалов наблюдается широкая петля с выраженным «прямоугольным» контуром, характерная для более жёстких магнитных материалов. Такие ферриты находят применение в сердечниках индуктивных компонентов, трансформаторах, дросселях и других устройствах, где важна высокая магнитная энергия и стабильность магнитных характеристик.

Таким образом, различия в магнитных свойствах обусловлены прежде всего размером и морфологией частиц, определяемыми методом синтеза. Растворное горение даёт мягкие, слабо коэрцитивные ферриты с узкими петлями гистерезиса, тогда как твердофазный синтез формирует материалы с высокой намагниченностью и выраженной магнитной жёсткостью. Выбор метода синтеза определяется требуемыми свойствами для конкретного применения.

Заключение

Проведённый в статье анализ демонстрирует, что технологии получения СВЧ-ферритов находятся в стадии активного перехода от традиционного высокотемпературного синтеза к более гибким, энергоэффективным и структурно управляемым подходам. Основное внимание сосредоточено на разработке методов «мокрой химии», микроволновой и лазерной обработке, а также аддитивных и низкотемпературных технологиях, обеспечивающих формирование наноструктурированных ферритов с заданными свойствами. Особую значимость приобретает точное управление составом и микроструктурой, включающее легирование, контроль катионного распределения и морфологии частиц. Современные требования к миниатюризации, интеграции и функциональной совместимости диктуют необходимость адаптации ферритов к тонкоплёночным и многослойным архитектурам, совместимым с гибкой электроникой и печатными технологиями. Перспективы дальнейших исследований связаны с созданием композиционных материалов нового поколения, цифровым моделированием синтеза и внедрением интеллектуальных систем управления параметрами ферритов. Эти усилия позволяют сформировать научно-технологическую базу для создания высокоэффективных СВЧ-устройств будущего.

Литература

- 1 Sugimoto M. The Past, Present, and Future of Ferrites // Journal of The American Ceramic Society. 1999. № 2 (82). P. 269-280.
- 2 Ситидзе Ю. Сато Х. Ферриты. М.: Мир. 1964. 408 с.
- 3 Martinson K.D., Panteleev I.B., Steshenko K.A., Popkov V.I. Effect of Bi_2O_3 contents on magnetic and electromagnetic properties of LiZnMn ferrite ceramics // Journal of European Ceramic Society. 2022. № 8 (42). P. 3463-3472.
- 4 Goldman A. Modern ferrite technology. Pittsburgh: Springer. 2006. 438 p.
- 5 Narang S.B., Pubby K.. Nickel spinel ferrites: a review // Journal of Magnetism and Magnetic Materials. 2021. V. 519. P. 167163.
- 7 Журавлев Г.И. Химия и технология ферритов. Л.: Химия. 1970. 192 с.
- 6 Бушкин С.С., Головин С.А., Сорока Н.Н. Особенности разработки малогабаритных фазированных антенных решеток на ферритовых фазовращателях для беспилотных летательных аппаратов // Вестник Концерна ВКО «Алмаз-Антей». 2020. № 1. С. 19-25.
- 7 Martinson K.D., Belyak V.E., Sakhno D.D., Ivanov A.A., Lebedev L.A., Nefedova L.A., Panteleev I.B., Popkov V.I. Solution combustion assisted synthesis of ultra-

magnetically soft LiZnTiMn ferrite ceramics // Journal of Alloys and Compounds. 2022, V. 894. P. 162554.

Мартинсон Кирилл Дмитриевич – кандидат химических наук, советник директора Научно-исследовательского института прикладного материаловедения, АО «НПО Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: ферриты, растворное горение, наноструктуры, оксидная керамика, функциональные материалы.

Email: martinsonkirill@mail.ru

Нефедова Любовь Александровна – кандидат технических наук, директор Научно-исследовательского института прикладного материаловедения, АО «НПО Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: катализаторы, аддитивные технологии, ферриты, организация и оптимизация производства.

Email: lnefedova@dsszrc.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120.

THE FUTURE OF MICROWAVE FERRITE PRODUCTION TECHNOLOGIES

The article is devoted to the analysis of promising technological approaches to the production of microwave ferrites — key materials for high-frequency electronics, radio communication devices and radar. Modern problems limiting the widespread use of ferrites in the millimeter range are considered, including compositional heterogeneity, high losses and the complexity of scalable synthesis. The work systematizes and compares innovative synthesis methods, such as microwave and laser processing, sol-gel and solution combustion methods, additive technologies, as well as approaches based on microstructure and composition control in order to minimize magnetic losses and increase the quality factor. Particular attention is paid to the development of low-temperature and energy-efficient processes that ensure the compatibility of microwave ferrites with integrated electronics and multilayer structures. Directions for further research are outlined, including hybrid materials and the use of machine learning to optimize the composition and synthesis parameters. The article is of interest to specialists in the field of radiofrequency and magnetoactive materials, as well as developers of next-generation microwave devices.

Keywords: microwave ferrites; wet chemistry methods; ceramics; nanoparticles; magnetic and electromagnetic properties.

Martinson Kirill Dmitrievich – PhD in Chemical Sciences, Advisor to the Director of the Research Institute of Applied Materials Science, JSC NPO Obukhovsky Zavod, St. Petersburg.

Research interests: ferrites, solution combustion, nanostructures, oxide ceramics, functional materials.

Nefedova Lyubov Aleksandrovna – PhD in Technical Sciences, Director of the Research Institute of Applied Materials Science, JSC NPO Obukhovsky Zavod, St. Petersburg.

Research interests: catalysts, additive technologies, ferrites, organization and optimization of production.

УДК 621.391

СПОСОБ ЗАЩИТЫ ИНФОРМАЦИИ ОТ УТЕЧКИ ПО ТЕХНИЧЕСКИМ КАНАЛАМ И УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ

Ольховик Р.А.

В работе рассмотрен вопрос защиты информации ограниченного распространения от утечки по техническим каналам при ее обработке в автоматизированных системах управления, размещенных на полевых подвижных пунктах управления. Предложен способ защиты информации, сущность которого заключается в определении пороговых уровней дестабилизирующих факторов, приводящих к образованию технических каналов утечки информации, и их снижении, за счет обоснования мер защиты информации. Разработано устройство защиты информации для реализации предложенного способа.

Ключевые слова: Автоматизированные системы управления; оценка защищенности информации; дестабилизирующий фактор; меры защиты; технический канал утечки информации; полевой подвижных пункт управления.

Введение

Одним из факторов, оказывающих влияние на дальнейшее развитие Вооруженных Сил Российской Федерации (ВС РФ) является стремительное развитие сквозных технологий, таких как искусственный интеллект и обработка больших массивов данных, квантовые вычисления и коммуникации, которые интенсивно используются противником для ведения разведки по вскрытию системы управления войсками и добычанию им информации циркулирующей в средствах управления, что кардинальным образом меняют характер вооруженной борьбы на всех уровнях и приводит к необходимости разрешения вопроса по обеспечению безопасности информации циркулирующей в средствах автоматизированной системы управления (АСУ).

Исходя из этого, одним из направлений развития ВС РФ является создание до конца 2027 года единой интегрированной информационной системы, отвечающей самым современным техническим требованиям, обеспечивающую принятие решений в электронном виде. Одним из таких требований является обеспечение комплексной многоуровневой защиты информации (ЗИ) в системе управления от всех видов реальных угроз с учетом современных и перспективных информационных технологий на основе обеспечения информационной безопасности и технологической независимости от промышленности иностранных государств [1, 2].

1 Анализ системы защиты информации

Анализ угроз безопасности информации позволил выявить ряд дестабилизирующих факторов, приводящих к образованию технических каналов утечки информации (ТКУИ) в АСУ, размещенных на полевых подвижных пунктах управления

(ПППУ):

- нарушение целостности корпусов кунгов транспортных средств, в которых развернуты средства управления (средства связи и АСУ);
- нарушение характеристик цепи заземления объекта информатизации;
- внедрение электронных устройств перехвата, в том числе несанкционированный пронос должностными лицами органов управления устройств с расширенными мультимедийными возможностями [3].

Кроме того, исходя из особенностей средств управления, размещенных на ПППУ и недостатков существующих средств ЗИ, установлено, что:

- диапазон работы средств связи находится в спектральном диапазоне маскирующего излучения средств защиты, что не позволяет функционировать первым;
- период функционирования и уровень выходной мощности сигналов средств защиты в пространство осуществляется без учета оценки наличия угроз и уровня опасности технических средств разведки (ТСР), что приводит к утечке информации или создает демаскирующие признаки для средств разведки;
- возможность выноса средств АСУ из кунов транспортных средств исключает применение имеющихся штатных средств пассивной защиты и повышает возможности технических средств разведки по добыванию информации [4].

Таким образом, проведенный анализ, показал, что существующие средства ЗИ не учитывают особенностей средств управления, размещенных на ПППУ, в связи с чем не обеспечивают необходимую защищенность информации и функционирование средств управления.

2 Способ защиты информации

В настоящей работе, предлагается способ защиты информации, сущность которого заключается в определении пороговых уровней дестабилизирующих факторов, приводящих к образованию ТКUI, и их снижении, за счет обоснования мер ЗИ [5, 6].

Алгоритм предлагаемого способа состоит из следующих этапов:

Этап 1. Осуществляют мониторинг возникновения ТКUI на ПППУ, путем определения пороговых значений дестабилизирующих факторов, приводящих к возникновению электромагнитного канала утечки информации и способствующих перехвату побочных электромагнитных излучений (ПЭМИ) от элементов АСУ ТСР, а именно:

а) для выявления нарушения целостности корпуса кунга транспортных средств, посредством датчика магнитоконтактного, определяют силу срабатывания датчика $F_{ср}$, А, расчет которой осуществляется по формуле

$$F_{ср} = \frac{U_{пит}}{R_{обм}} \cdot W, \quad (1)$$

где $U_{пит}$ – напряжение питания датчика, В;

$R_{обм}$ – сопротивление управляющей обмотки датчика, Ом;

W – число витков управляющей обмотки датчика.

При этом пороговое значение срабатывания датчика $F_{пор}$ вследствие нарушения целостности корпуса кунга транспортных средств составляет 5 А.

б) для выявления устройств негласного съема информации, посредством детектора сигналов, определяют значение мощности сигнала от устройства перехвата при

его сканировании детектором сигналов $P_{пр}$, Вт, расчет которого осуществляется по формуле

$$P_{пр} = \frac{(P_{со} \cdot G_{п})^2 \cdot S_{л}}{(4\pi \cdot R^2)^3}, \quad (2)$$

где $P_{со}$ – мощность зондирующего импульса, Вт;
 $G_{п}$ – коэффициент усиления передающей антенны;
 $S_{л}$ – площадь приемной антенны детектора, м;
 R – расстояние от детектора до обследуемого объекта, м.

При этом, пороговое значение мощности сигнала, получаемое детектором при сканировании $P_{пор}$ вследствие наличия устройства негласного съема информации, составляет 0,05 Вт.

Полученные значения вышеописанных показателей сопоставляют с соответствующими им пороговыми значениями, при превышении которых и возникает ТКУИ.

Этап 2. Определяют меры ЗИ вследствие возникновения выявленных на предыдущем этапе дестабилизирующих факторов, а именно:

а) определяют необходимый уровень мощности излучения помех в полосе канала утечки информации P_n , Вт, расчет которого осуществляется по формуле

$$P_n = \frac{P_c}{\frac{\gamma_{ку} \cdot V_{об}}{2^{(\Delta F_{ку} - \Delta F_{пс}) \cdot (t_{ку} - t_{сз})} - 1}}, \quad (3)$$

где $\Delta F_{ку}$ – ширина полосы пропускания канала утечки, Гц;
 $\Delta F_{пс}$ – ширина полосы подавления, Гц;
 P_c – мощность сигнала в канале утечки, Вт;
 $t_{ку}$ – время функционирования ТКУИ, с;
 $t_{сз}$ – время функционирования средств защиты, с;
 $\gamma_{ку}$ – информативность ТКУИ;
 $V_{об}$ – объем информации, циркулирующей в АСУ, байт.

б) определяют ширину частоты подавления негласного устройства съема информации $\Delta F_{пс}$, Гц, расчет которой осуществляется по формуле

$$\Delta F_{пс} = \frac{\gamma_{ку} \cdot V_{об}}{\log_2 \left(1 + \frac{P_c}{P_n} \right) \cdot (t_{ку} - t_{сз})}, \quad (4)$$

Этап 3. Осуществляют формирование и излучение в пространство прицельно-заградительных помех в частотном диапазоне ПЭМИ от средств АСУ и сигналов подавления в частотном диапазоне работы выявленных средств негласного получения информации, при этом:

а) осуществляют формирование необходимой мощности $P_{п}$, Вт, согласно выражения

$$P_{п} = \frac{U_{згш}^2}{R_{цп}}, \quad (5)$$

где $U_{згш}$ – напряжение на выходе задающего генератора шума, В;
 $R_{цп}$ – сопротивление цифрового потенциометра, Ом.

б) осуществляют формирование необходимой частоты подавления $F_{пс}$, Гц, согласно выражения

$$F_{пс} = \frac{1}{2\pi L \sqrt{C_{\Sigma}}}, \quad (6)$$

где L – индуктивность резонатора, Гн;
 C_{Σ} – суммарная емкость резонатора, Ф.

В свою очередь, формирование помех и сигналов подавления осуществляют только в течении периода существования дестабилизирующего фактора, а равно функционирования ТКУИ.

3 Устройство защиты информации

Мероприятия каждого этапа вышеописанного способа реализованы в виде устройства защиты информации, блок-схема которого представлена на рисунке 1 [7, 8].

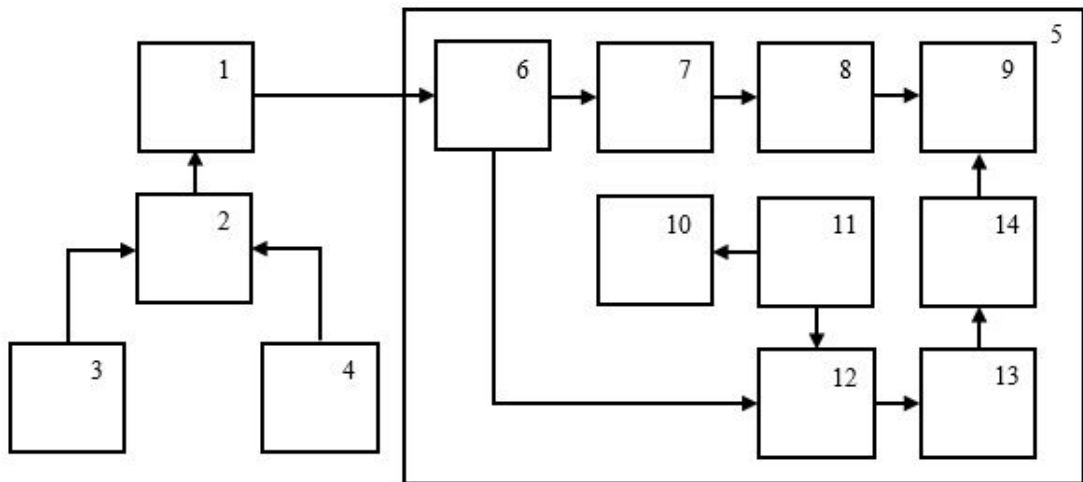


Рисунок 2 – Схема устройства защиты информации

Устройство содержит: средство вычислительной техники 1, первый контроллер 2, датчик магнитоконтактный 3, детектор электромагнитных сигналов 4, средство активной защиты 5, состоящее из второго контроллера 6, цифрового потенциометра 7, многоканального формирователя шумового сигнала 8, антенного модуля 9, задающего генератора шума 10, блока питания 11, синтезатора частоты 12, блока модуляции 13, блока усилителей 14, при этом первый контроллер 2 соединён с датчиком 3, детектором электромагнитных сигналов 4 и средством вычислительной техники 1, которое соединено со вторым контроллером 6 средства активной защиты 5, цифровой потенциометр 7 соединен со вторым контроллером 6, задающим генератором шума 10 и многоканальным формирователем шумового сигнала 8, который соединен с антенным модулем 9, блок питания 11 соединен с задающим генератором 10 и синтезатором частоты 12, который соединен с блоком модуляции 13 и вторым контроллером 6, а блок усилителей 14 соединён с блоком модуляции 13 и антенным модулем 9.

Работа устройства осуществляется следующим образом: осуществляют совместный запуск датчика 3, детектора электромагнитных сигналов 4, средства активной защиты 5 и средства вычислительной техники 1, при включении и инициализации процедуры начальной загрузки операционной системы средства вычислительной тех-

ники 1 запускают программное средство, обладающее исключительными правами запуска сеанса пользователя операционной системы, которое запрашивает у первого контроллера 2 управляющие сигналы, представляющие из себя цифровой код, в свою очередь первый контроллер 2 ожидает поступления соответствующих сигналов от датчика 3 и детектора электромагнитных сигналов 4, при размыкании датчика 3, вызванное открытием дверей кузова-фургона транспортного средства, значение напряжения на датчике 3 падает, первый контроллер 2 фиксирует пониженное значение напряжения на датчике 3, преобразует его в цифровой код и отправляет на средство вычислительной техники 1, программное средство выполняет обработку полученного значения кода и отправляет соответствующий код команды на второй контроллер 6 средства активной защиты 5, который преобразует его в управляющий сигнал и передает на потенциометр 7, при этом задающий генератор шума 10 непрерывно формирует широкополосный сигнал с определенным уровнем выходной мощности, который в свою очередь поступает на потенциометр 7, потенциометр 7 принимает управляющий сигнал с второго контроллера 6 и на его основании осуществляет установку ключей в соответствующее состояние, в результате чего смещается значение сопротивления в сторону уменьшения и уровень мощности выходного сигнала задающего генератора шума 10 увеличивается, далее сигнал с потенциометра 7 поступает на многоканальный формирователь шумового сигнала 8, где осуществляется формирование N узкополосных шумовых сигналов в заданных диапазонах частот и их передача на антенный модуль 9, который излучает их в пространство, при замыкании датчика 3, вызванное закрытием дверей кузова-фургона транспортного средства, значение напряжения на датчике 3 увеличивается, первый контроллер 2 фиксирует повышенное значение напряжения на датчике 3, преобразует его в цифровой код и отправляет на средство вычислительной техники 1, программное средство выполняет обработку полученного значения кода и отправляет соответствующий код команды на второй контроллер 6 средства активной защиты 5, который преобразует его в управляющий сигнал и передает на потенциометр 7, цифровой потенциометр 7 принимает управляющий сигнал со второго контроллера 6 и на его основании осуществляет установку ключей в соответствующее состояние, в результате чего смещается значение сопротивления в сторону увеличения и уровень мощности выходного сигнала задающего генератора шума 10 уменьшается, в свою очередь уровень мощности задающего генератора шума 10, на которую необходимо изменять его работу, определяют для конкретных условий его применения, с учетом обеспечения установленной нормы защиты информации на границе контролируемой зоны эксплуатируемого объекта информатизации и устанавливают путем инструментальных измерений в ходе проведения аттестации объектов информатизации, размещенных в кузовах-фургонах транспортных средств, по соблюдению требований безопасности информации. В свою очередь детектор электромагнитных сигналов 4 осуществляет непрерывное сканирование частотного диапазона, при этом уровень мощности и динамический диапазон радиосигналов радиопередающих устройств, сканируемых детектором электромагнитных сигналов 4 регулируют путем изменения настроек детектора электромагнитных сигналов 4, при обнаружении на объекте информатизации детектором электромагнитных сигналов 4 радиосигнала средства мобильной связи или закладного устройства, детектор

4 определяет характеристику радиосигнала и, в случае наличия угрозы, формирует и передает, посредством первого контроллера 2, цифровой код на средство вычислительной техники 1, программное средство выполняет обработку полученного значения кода и отправляет соответствующий код команды на второй контроллер 6 средства активной защиты 5, который на его основании устанавливает синтезатору частоты 12 необходимую для подавления частоту генерируемого им сигнала, при этом программное средство генерирует управляющий сигнал на период времени, установленный в соответствии с таймером программного обеспечения, в свою очередь при написании программного кода программного обеспечения, формируют программный таймер, начальное значение, значение момента срабатывания, а также временной интервал подачи управляющего сигнала на синтезатор частоты 12, синтезатор частоты 12 генерирует опорный сигнал с соответствующей частотой, заданной вторым контроллером 6 и подает его на блок модуляции 13, блок модуляции 13 изменяет свойства опорного сигнала синтезатора частоты 12 создавая при этом шумовой сигнал необходимый для подавления и подает его на блок усилителей 14, который усиливает мощность сигнала до уровня, необходимого для подавления выявленных детектором электромагнитных сигналов 4 радиопередающих устройств, далее усиленный шумовой сигнал с блока усилителей 14 поступает на антенный модуль 9, который излучает шумовой сигнал в пространство, после окончания программного таймера программное средство формирует и отправляет соответствующий код команды на второй контроллер 6 средства активной защиты 5, который на его основании отключает синтезатор частоты 12, вследствие чего шумовой сигнал для подавления не создается и не излучается в пространство, далее программное средство посредством первого контроллера 2, запрашивает с детектора электромагнитных сигналов 4 наличие ранее, а также вновь обнаруженных радиосигналов радиопередающих устройств, при их обнаружении происходит повторное формирование и подача управляющего сигнала на синтезатор частоты 12 для генерации им соответствующей частоты, необходимой для подавления обнаруженных радиосигналов по ранее описанному алгоритму.

4 Экспериментальные исследования

Для оценки эффективности применения разработанного устройства защиты проведены экспериментальные исследования. По результатам, которых установлено, что уровень напряженности ПЭМИ от АРМ при возникновении дестабилизирующего фактора становится выше (рисунок 2), а соответственно вероятность обнаружения информативного сигнала ТСП и объем утечки информации увеличиваются. Вместе с тем установлено, что при применении:

- традиционных мер, реализуемых посредством существующих устройств защиты информации – уровень мощности излучения помех в полосе канала утечки информации остается неизменным, а соответственно качество информации, получаемое ТСП, повышается (рисунок 2 а);

- предлагаемых мер, посредством разработанного устройства защиты информации – уровень мощности излучения помех в полосе канала утечки информации изменяется (становится больше), а соответственно качество информации, получаемое ТСП, снижается (рисунок 2 б).

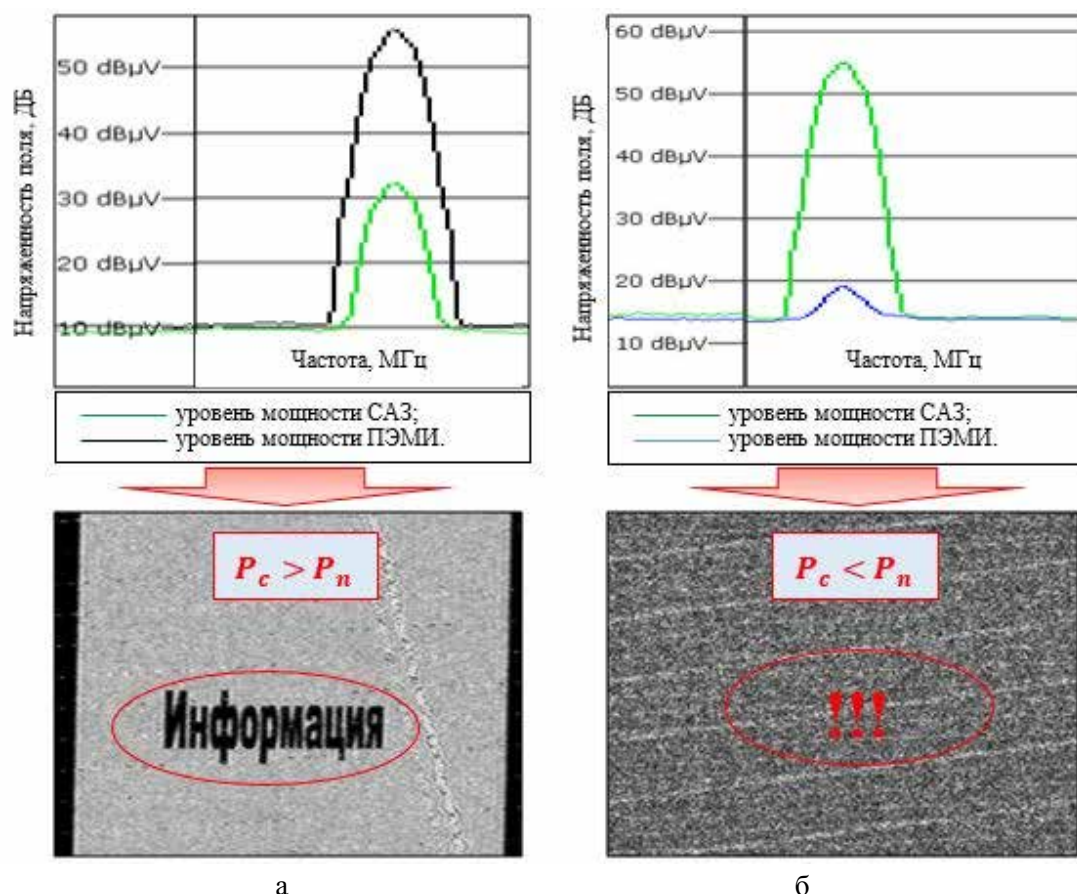


Рисунок 2 – Фрагмент результата оценки функционирования устройства защиты:
а) существующие устройства; б) разработанное устройство

Заключение

Таким образом, разработанное устройство защиты позволяет повысить защищенность информации ограниченного распространения от утечки по техническим каналам при ее обработке на средствах АСУ, размещенных в кузовах-фургонах транспортных средств, за счет постоянного мониторинга состояния дверей кузова-фургона транспортного средства и изменения уровня выходной мощности излучения средства активной защиты при их открытии, а также за счет мониторинга радиосигналов радиопередающих устройств и осуществление их подавления при обнаружении на объекте информатизации.

В результате, использование предлагаемого способа позволяет осуществлять непрерывный мониторинг возникновения угроз безопасности информации в средствах АСУ, вызванных деструктивными воздействиями и в зависимости от их технических характеристик повышать защищенность информации, что позволит обеспечить функционирование средств АСУ и безопасность циркулирующей в ней информации. Кроме того, он учитывает технические особенности ПППУ развернутых на базе кузовов-фургонов транспортных средств и их средств управления, что в свою очередь позволит снизить демаскирующие признаки функционирования средств ЗИ и обеспечить их электромагнитную совместимость со средствами связи.

Литература

1 Доктрина информационной безопасности Российской Федерации, утверждена указом Президента Российской Федерации от 05.12.2016 г. № 646. – Москва, 2016.

2 Концепция развития системы управления Вооруженными Силами Российской Федерации на период до 2030 года, утверждена Министром обороны Российской Федерации 20.02.2020 г. – Москва, 2020.

3 Ольховик Р.А. Об угрозах безопасности информации на объектах информатизации полевых пунктов управления / Р.А. Ольховик, И.Е. Молоков // Научный вестник Военной академии Военно-космической обороны: Сб. статей Межвед. МВК, 2024. Часть 1. Тверь: ВА ПВО, 2024. – С. 284-290.

4 Ольховик Р.А. К вопросу состояния системы защиты информации на полевых пунктах управления / Р.А. Ольховик, И.Е. Молоков // Научный вестник Военной академии Военно-космической обороны: Сб. статей Межвед. МВК, 2024. Часть 1. Тверь: ВА ПВО, 2024. С. 291-297.

5 Ольховик Р.А. Устройство защиты информации от утечки по техническим каналам / Р.А. Ольховик // Патент на изобретение № 2836710 опубл. 19.03.2025, Бюл. № 8. Заявка № 2024125410 от 29.08.2024 г.

6 Ольховик Р.А. Способ защиты объектов информатизации от воздействия носимых технических средств промышленного шпионажа и устройство для его реализации / Р.А. Ольховик, В.В. Нечаев, И.Е. Молоков, В.А. Нечаева // Патент на изобретение № 2825543 опубл. 27.08.2024, Бюл. № 24. Заявка № 2023114803 от 06.06.2023 г.

7 Ольховик Р.А. Способ защиты объектов информатизации от воздействия технических средств промышленного шпионажа / Р.А. Ольховик, В.В. Нечаев // Патент на изобретение № 2821150 опубл. 17.06.2024, Бюл. № 17. Заявка № 2023111533 от 02.05.2023 г.

8 Ольховик Р.А. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024660388 Российская Федерация. Программное средство обеспечения функционирования устройства защиты объектов информатизации от воздействия носимых технических средств промышленного шпионажа: 2024619054: завл. 23.04.2024: опубл. 06.05.2024 / Р.А. Ольховик, В.В. Михайлов, В.В. Нечаев, В.А. Нечаева; заявитель ФГКОУ ВО «ВА МТО» МО РФ.

Ольховик Роман Александрович – преподаватель Военной академии материально-технического обеспечения имени генерала армии А.В.Хрулёва, Санкт-Петербург.
Область научных интересов: информационная безопасность.
E-mail: sirius-23@yandex.ru

Почтовый адрес: 199034, Санкт-Петербург, набережная Макарова, дом 8.

A WAY TO PROTECT INFORMATION FROM LEAKAGE THROUGH TECHNICAL CHANNELS AND THE DEVICE FOR ITS IMPLEMENTATION

The paper considers the issue of protecting information of limited distribution from leakage

through technical channels during its processing on computer equipment located in the van bodies of vehicles. A method of information protection is proposed, the essence of which is to determine the threshold levels of destabilizing factors leading to the formation of technical channels for information leakage, and to reduce them by justifying information protection measures. An information protection device has been developed to implement the proposed method.

Keywords: Automated control systems; information security assessment; destabilizing factor; security measures; technical channel for information leakage; technical intelligence tools; mobile field control center.

Olkhovik Roman Alexandrovich - lecturer at the Military Academy of Logistics named after Army General A.V.Khrulev, St. Petersburg.

Research interests: information security.

УДК 621.396.96:519.6

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИГНАЛА ГОМОДИННОГО ИЗМЕРИТЕЛЯ СКОРОСТИ НОСИТЕЛЯ

Агеева А.В., Колтышев Е.Е., Вицукаев А.В.

В статье представлена математическая модель линейно-частотно модулированного сигнала гомодинного радиолокатора, отражённого от подстилающей поверхности при размещении радиолокационной станции на движущейся платформе. Модель реализована в программной среде MATLAB, что позволило провести анализ влияния движения носителя радара с высоким разрешением и характеристик среды на параметры отраженного сигнала. Полученные результаты могут быть использованы при разработке и отладке алгоритмов обработки радиолокационных данных для измерения скорости носителя, оснащённого гомодинным приёмопередатчиком миллиметрового диапазона.

Ключевые слова: радиолокационный гомодинный приёмопередатчик миллиметрового диапазона; математическая модель сигнала гомодинного измерителя скорости; измеритель скорости подвижного состава метрополитена.

Введение

Современные системы измерения скорости подвижного состава метрополитена для обеспечения безопасности требуют высокой точности и надёжности оценки параметров движения в условиях сложной эксплуатационной среды. Традиционные датчики, основанные на контактных или инерциальных принципах, не всегда обеспечивают необходимую точность. Одним из перспективных методов является использование гомодинных радиолокационных измерителей миллиметрового диапазона, обеспечивающих высокое разрешение и устойчивость к погодным условиям и отсутствию освещённости в тоннелях.

Цель данной работы заключается в разработке математической модели сигнала гомодинного радиолокационного датчика, отраженного от подстилающей поверхности при движении носителя радиолокационной системы. Исследование ориентировано на применение радиолокационной системы, установленной на подвижном составе метрополитена.

1 Модель принимаемого сигнала

Принимаемый ЛЧМ сигнал, отраженный от подстилающей поверхности описывается выражением

$$s(t-t_3(t)) = \sum_{n=0}^{N-1} \text{rect}\left(\frac{t-t_3(t)-nT_M}{T_M}\right) \exp\left\{j2\pi\left[f(t-t_3(t)) + \frac{\gamma}{2}(t-t_3(t)-nT_M)^2\right]\right\} \quad (1)$$

где $f = \frac{2Vf_0}{c}$ – доплеровский сдвиг,

$$t_3 = \frac{2R}{c} - \text{задержка сигнала,}$$

T_M - период модуляции,

N – число периодов модуляции [1].

Функция *rect* обозначает прямоугольную функцию, которая принимает значение 1 на интервале времени T_M и значение 0 вне этого интервала.

Выражение (1) можно преобразовать к виду

$$s(t - t_3(t)) = \left[\sum_{n=0}^{N-1} \text{rect} \left(\frac{t - t_3(t) - nT_M}{T_M} \right) \exp \left\{ j2\pi \frac{\gamma}{2} (t - t_3(t) - nT_M)^2 \right\} \right] \times \\ \times \exp \{ j2\pi f(t - t_3(t)) \}. \quad (2)$$

Согласованный прием сигнала описывается выражением

$$Z = \int_0^T y(t) s^* \left(t - t_{30}(t) \right) dt, \quad (3)$$

где t_{30} – ожидаемая задержка (опорного) сигнала.

2 Двухэтапная обработка сигнала

В соответствии с установленными нормами и требованиями, скорость движения подвижного состава метро при пассажироперевозках не превышает максимального значения в 25 м/с. При этом перемещение поезда за период модуляции составляет лишь доли элемента разрешения по дальности. Это обстоятельство позволяет пренебречь изменением задержки за период модуляции и разделить обработку на два этапа: этап внутрипериодной обработки и межпериодную обработку.

$$Z = \sum_{n=0}^{N-1} \left[\int_{nT_M + t_{30}(t)}^{(n+1)T_M + t_{30}(t)} y(t) \text{rect} \left(\frac{t - t_{30}(nT_M) - nT_M}{T_M} \right) \times \right. \\ \left. \times \exp \left\{ -j2\pi ft - j2\pi \frac{\gamma}{2} (t - t_{30}(nT_M) - nT_M)^2 \right\} dt \right] \times \exp \{ j2\pi f \times t_{30}(nT_M) \}. \quad (4)$$

3 Внутрипериодная обработка сигнала

На данном этапе осуществляется анализ сигналов в рамках одного периода модуляции. В процессе внутрипериодной обработки происходит сжатие сигнала по дальности.

$$z(n) = \int_{nT_M + t_3(t)}^{(n+1)T_M + t_3(t)} y(t) \text{rect} \left(\frac{t - t_3(nT_M) - nT_M}{T_M} \right) \exp \left\{ -j2\pi \left(ft + \frac{\gamma}{2} (t - t_3(nT_M) - nT_M)^2 \right) \right\} dt \quad (5)$$

4 Межпериодная обработка сигнала

Межпериодная обработка сигнала осуществляется на основе спектрального анализа и включает интеграцию (накопление) данных, полученных на различных периодах модуляции:

$$Z = \sum_{n=0}^{N-1} z(n) \exp \left\{ j2\pi f \cdot t_{30}(nT_M) \right\} = \sum_{n=0}^{N-1} z(n) e^{j\frac{4\pi}{\lambda} R_0} \exp \left\{ -j2\pi f_{\partial 0} nT_M \right\} \quad (6)$$

$$\text{так как } f \cdot t_{30}(nT_M) = f \cdot t_{30}(t) = f \frac{2}{c} (R_0 - V_0 nT_M) = \frac{2R_0}{\lambda} - \frac{2V_0}{\lambda} nT_M = \phi_0 - f_{\partial 0} nT_M, \quad (7)$$

где t_{30} – задержка строба дальности (опорная задержка);

R_0 – опорная дальность до цели;

V_0 – опорная скорость цели;

ϕ_0 – фаза опорного сигнала;

$f_{\partial 0}$ – опорный доплеровский сдвиг частоты сигнала.

Накопление сигнала на этапе сжатия по дальности определяется выражением

$$z(n) = A \int_{nT_M + t_{30}}^{(n+1)T_M + t_{30}} \exp \left\{ j2\pi \frac{\gamma}{2} (t - t_3 - nT_M)^2 \right\} \exp \left\{ -j2\pi \frac{\gamma}{2} (t - t_{30} - nT_M)^2 \right\} dt e^{-j2\pi f t_3 + n_z(nT_M)}. \quad (8)$$

С целью упрощения математического моделирования и анализа сигналов вводится замена переменной $t' = t - nT_M$, тогда на интервале модуляции

$$z(n) = A e^{-j2\pi f \cdot t_3} \exp \left\{ j2\pi \frac{\gamma}{2} (t_3^2 - t_{30}^2) \right\} \frac{e^{-j2\pi \gamma \Delta t t_{30}} - e^{-j2\pi \gamma \Delta t (T_M + t_{30})}}{j2\pi \gamma \Delta t} + n_z(nT_M). \quad (9)$$

Сомножитель выражения (9) можно преобразовать к виду

$$\frac{e^{-j2\pi \gamma \Delta t t_{30}} - e^{-j2\pi \gamma \Delta t (T_M + t_{30})}}{j2\pi \gamma \Delta t} = e^{-j2\pi \gamma \Delta t (t_{30} + T_M)} T_M \operatorname{sinc} \{ \pi \gamma \Delta t T_M \}, \quad (10)$$

где $\Delta t = t_3 - t_{30}$, тогда выражение (8) принимает вид

$$z(n) = A T_M e^{j2\pi \frac{\gamma}{2} (t_3^2 - t_{30}^2)} e^{-j2\pi \gamma (t_3 - t_{30}) \cdot (t_{30} + T_M)} \operatorname{sinc} \left\{ \pi \gamma (t_3 - t_{30}) T_M \right\} \exp \left\{ -j2\pi f t_3 \right\} + n_z(nT_M). \quad (11)$$

Функция $\operatorname{sinc} \left\{ \pi \gamma (t_3 - t_{30}) T_M \right\}$, входящая в (11) определяет зависимость амплитуды выходного сигнала на выходе фильтра сжатия по дальности (строба дальности, или внутрипериодной обработки) от рассогласования по задержке отраженного сигнала и опорной функции (импульсной характеристики фильтра сжатия). При этом разница истинной $t_3(t) = \frac{2}{c} \cdot (R - V nT_M)$ и опорной задержек радиосигнала

$t_{30}(t) = \frac{2}{c} \cdot (R_0 - V_0 n T_M)$ характеризует изменение амплитуды от номера периода модуляции. Например, при совпадении изменения задержек $V = V_0$, амплитудный множитель $\sin c\{\pi\gamma(t_3 - t_{30})T_M\}$ не зависит от n , и от периода к периоду амплитуда выходного сигнала фильтра сжатия по дальности остается постоянной, а при не совпадении ($V \neq V_0$) – аргумент амплитудного множителя линейно зависит от номера периода модуляции $\Delta t = \frac{2}{c} \cdot (V - V_0) n T_M$ (при $R = R_0$), что приводит к изменению (уменьшению) отраженного сигнала в пределах времени межпериодной обработки ($T = NT_M$).

Последний сомножитель первого слагаемого (11) определяет линейное изменение фазы принимаемого сигнала, обусловленное доплеровским эффектом

$$\exp\{-j2\pi f t_3\} = \exp\left\{-j2\pi f \frac{2}{c}(R - V n T_M)\right\} = \exp\left\{-j \frac{4\pi}{\lambda} R + j2\pi \frac{2V}{\lambda} n T_M\right\} \quad (12)$$

или доплеровский сдвиг частоты сигнала $f_d = \frac{2V}{\lambda}$.

Сомножители, содержащие экспоненты при первом слагаемом определяют нелинейное (параболическое) изменение фазы при дальнейшей межпериодной обработке (накоплении) сигнала:

$$e^{j2\pi\frac{\gamma}{2}(t_3^2 - t_{30}^2)} e^{-j2\pi\gamma(t_3 - t_{30})(t_{30} + T_M)} = \exp\left\{j2\pi\frac{\gamma}{2}\left[(t_3 - t_{30} - T_M)^2 - T_M^2\right]\right\}. \quad (13)$$

Такая модуляция фазы ведет к падению уровня спектрального отклика отражателя и увеличению его боковых лепестков. Выражение (13) содержит квадратичную и линейную составляющие фазы

$$\phi(t) = \pi\gamma\left(\frac{2}{c}(R - R_0 - \Delta V t)\right)^2 - 2\pi\gamma\frac{2}{c}T_M(R - R_0 - \Delta V t), \quad (14)$$

где $t = nT_M$; $\Delta V = V - V_0$ или

$$\phi(n) = 2\pi\frac{\gamma}{2}\left[\Delta t(n)^2 - 2\Delta t(n)T_M\right] = \phi_{\text{КВ}}(n) + \phi_L(n), \quad (15)$$

где $\Delta t(n) = \frac{2}{c} \cdot [R - R_0 - \Delta V n T_M]$.

При последующей межпериодной обработке квадратичный член определяет расфокусировку спектрального отклика, а линейный – его частотный сдвиг, допустимые величины которых зависят от соотношения времени (межпериодной обработки) накопления $T = NT_M$ и некомпенсированной скорости сближения с отражателем ΔV :

$$\phi_{\text{KB}}(T) = 2\pi \frac{\gamma}{2} \left(\frac{2}{c} \Delta VT \right)^2 \leq \frac{\pi}{2},$$

$$\phi_L(T) = 2\pi \frac{\gamma}{2} \frac{2}{c} \Delta VT \cdot T_M \leq \frac{\pi}{2}, \quad (16)$$

$$T \leq \frac{1}{2} \frac{\sqrt{\delta r T_M c}}{\Delta V}, \quad (17)$$

$$T \leq \frac{1}{2} \frac{\delta r}{\Delta V}. \quad (18)$$

Условие (18) в физическом смысле определяет, что миграция сигнала отражателя по задержке за время межпериодной обработки T не должна превышать половину величины разрешающей способности РЛС по дальности вследствие взаимного радиального движения отражателя и РЛС. Выполнение (18) означает выполнение условия (17), определяющего степень расфокусировки спектрального отклика отражателя.

При выполнении (18) влияние фазовой модуляции (13) на результат последующей межпериодной обработки несущественно, а сигнал на выходе процедуры сжатия по дальности определяется выражением

$$z(n) = AT_M \operatorname{sinc} \left\{ \pi \gamma (t_3 - t_{30}) T_M \right\} \exp \{ -j2\pi f t_3 \} + n_z(nT_M); \quad (19)$$

Дисперсия шума на выходе внутрипериодной обработки

$$n_z(nT_M) = \int_{nT_M + t_{30}}^{(n+1)T_M + t_{30}} n(t) \exp \left\{ -j2\pi \left(ft + \frac{\gamma}{2} (t - t_{30} - nT_M)^2 \right) \right\} dt \quad (20)$$

с учетом его корреляционной функции определяется выражением:

$$P_z = \left\langle \dot{n}_z(nT_M) \cdot \dot{n}_z^*(nT_M) \right\rangle = \frac{N_0}{2} T_M. \quad (21)$$

Результат межпериодной обработки (6) имеет вид:

$$Z = \sum_{n=0}^{N-1} AT_M \operatorname{sinc} \left\{ \pi \gamma (t_3 - t_{30}) T_M \right\} \exp \left\{ -j2\pi f (t_3 - t_{30}) \right\} + \sum_{n=0}^{N-1} n_z(nT_M) \exp \{ j2\pi f t_{30} \} \quad (22)$$

и при $\Delta V \leq \frac{1}{2} \frac{\delta r}{T}$:

$$Z \approx AT_M \operatorname{sinc} \left\{ \pi \gamma (t_3 - t_{30}) T_M \right\} e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R} e^{j\frac{4\pi}{\lambda} R_0} \sum_{n=0}^{N-1} \exp \left\{ j2\pi (f_\partial - f_{\partial 0}) nT_n \right\} + n_Z, \quad (23)$$

где $n_Z = \sum_{n=0}^{N-1} n_z(nT_M) e^{j\frac{4\pi}{\lambda} R_0} \exp \{ -j2\pi f_{\partial 0} nT_M \}$.

В (23) компонента аргумента комплексной экспоненты характеризует начальную фазу отраженного сигнала с дальности R

$$e^{j\phi_0} = e^{-j\frac{4\pi}{\lambda} R} e^{j\frac{4\pi}{\lambda} R_0}. \quad (24)$$

Последний сомножитель сигнальной компоненты (23) характеризует межпери-

одное когерентное накопление отраженного сигнала в фильтре, настроенном на частоту $f_{\partial 0}$ и определяет зависимость выходного сигнала межпериодного накопления от рассогласования $\Delta f_{\partial} = f_{\partial} - f_{\partial 0}$ по частоте (доплеровскому сдвигу частоты) отраженного сигнала f_d относительно опорной частоты $f_{\partial 0}$ межпериодной обработки (доплеровского фильтра системы обработки)

$$AT_M \sum_{n=0}^{N-1} \exp\{j2\pi\Delta f_{\partial} nT_M\} \approx AT_M N \cdot \frac{\sin\{\pi\Delta f_{\partial} NT_M\}}{\pi\Delta f_{\partial} NT_M} e^{j\pi\Delta f_{\partial} (N-1)T_M} \approx AT \sin c\{\pi\Delta f_{\partial} T\} e^{j\pi\Delta f_{\partial} T} \quad (25)$$

или

$$AT_M \sum_{n=0}^{N-1} \exp\{j2\pi\Delta f_{\partial} nT_M\} \xrightarrow[nT_M \rightarrow T]{NT_M \rightarrow T} A \int_0^T \exp\{j2\pi\Delta f_{\partial} t\} dt = AT \sin c\{\pi\Delta f_{\partial} T\} e^{j\pi\Delta f_{\partial} T}. \quad (26)$$

Таким образом, выходной сигнал системы обработки (4) при приеме отражения от точечного объекта (элементарного отражателя) определяется соотношением

$$Z = Ae^{j\pi\Delta f_{\partial} T} \sin c\left\{\pi\gamma \begin{pmatrix} t & -t \\ z & z_0 \end{pmatrix} T\right\} \sin c\left\{\pi \begin{pmatrix} f & -f \\ \partial & \partial_0 \end{pmatrix} T\right\} e^{j\pi \begin{pmatrix} f & -f \\ \partial & \partial_0 \end{pmatrix} T} + n_Z, \quad (27)$$

где $n_Z = \sum_{n=0}^{N-1} n_z(nT_M) e^{j\frac{4\pi}{\lambda} R_0} \exp\{-j2\pi f_{\partial 0} nT_M\},$

NT_M – множитель, характеризующий накопление сигнала системой обработки.

Дисперсия шума на выходе межпериодной обработки соответствует выражению

$$P_Z = \sum_{n=0}^{N-1} P_z(nT_n) = \frac{N_0}{2} NT_M. \quad (28)$$

Отражения от подстилающей поверхности в элементе разрешения описываются аддитивной суммой сигналов от элементарных отражателей, распределенных равномерно на подстилающей поверхности. Положение элементарного отражателя характеризуется его дальностью (задержкой), и угловыми координатами – азимутом εg и углом места εv . Предположим, что радиолокационная станция подвижного состава находится относительно подстилающей поверхности на высоте H (в точке O') и совершает движение со скоростью V (рисунок 1). Скорость движения имеет две составляющие: горизонтальную (путевую) $V_{\Pi} = V \cos \nu$ и вертикальную $V_v = V \sin \nu$, где ν – угол направления вектора скорости в вертикальной плоскости. Составляющая вертикальной скорости возникает из-за наличия наклонных участков на пути (подъемы/спуски), качанием платформы, при этом рельеф подстилающей поверхности также может изменяться, что важно учитывать при анализе спектра отражений [2].

Доплеровский сдвиг частоты отраженного сигнала от отражателя определяется выражением (рисунок 1)

$$f_{\partial} = \frac{2V_n}{\lambda} \cos \varepsilon_g \cos \varepsilon_v - \frac{2V_y}{\lambda} \sin \varepsilon_v. \quad (29)$$

$$\text{Время задержки сигнала: } t_3 = \frac{2R}{c} = \frac{2}{c} \frac{H}{\sin \varepsilon_v}.$$

Сигнал от элементарного точечного отражателя на выходе приемника РЛС описывается функцией частоты настройки доплеровского фильтра $f_{\partial 0}$, задержки строка t_{30} (опорного сигнала) и доплеровского сдвига частоты f_{∂} и задержки самого сигнала t_3 . Сигнал, отраженный от совокупности отражателей, (на выходе приемника РЛС) в элементе разрешения РЛС описывается интегралом (суммой) по элементу поверхности ds , соответствующего элементу разрешения $ds = dx \times dz$:

$$\dot{Z}_{\Sigma}(t_{30}, f_{\partial 0}) = \int_S \dot{Z}(t_3(x, z) - t_{30}, f_{\partial}(x, z) - f_{\partial 0}) ds = \int_{XZ} \dot{Z}(t_3(x, z) - t_{30}, f_{\partial}(x, z) - f_{\partial 0}) dx dz. \quad (30)$$

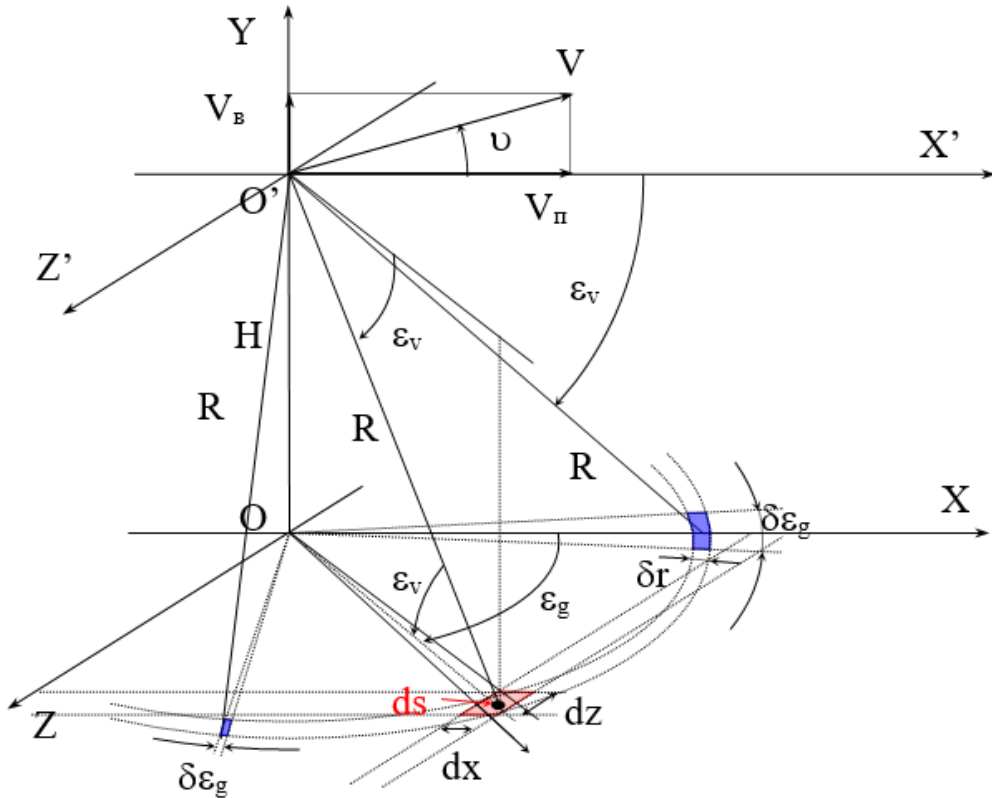


Рисунок 1 – Система координат

Время задержки и частота доплера в соответствии с рисунком 1

$$t_3(x, z) = \frac{2}{c} R = \frac{2}{c} \sqrt{H^2 + x^2 + z^2} \quad (31)$$

$$f_{\text{д}}(x, z) = \frac{2V_{\text{п}}}{\lambda} \frac{x}{\sqrt{H^2 + x^2 + z^2}} \cos \left\{ \arctan \left\{ \frac{z}{x} \right\} \right\} - \frac{2V_{\text{y}}}{\lambda} \frac{H}{\sqrt{H^2 + x^2 + z^2}} \quad (32)$$

Мощность отражений (30) определяется соотношением

$$P = \left\langle \dot{Z}_{\Sigma}(t_{30}, f_{\partial 0}) \dot{Z}_{\Sigma}^*(t_{30}, f_{\partial 0}) \right\rangle$$

$$P = \left\langle \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \dot{Z}(t_3(x_1) - t_{30}, f_{\partial}(x_1, z_1) - f_{\partial 0}) \dot{Z}^*(t_3(x_2) - t_{30}, f_{\partial}(x_2, z_2) - f_{\partial 0}) dx_1 dz_1 dx_2 dz_2 \right\rangle. \quad (33)$$

В предположении, что сигналы отдельных отражателей независимы, т.е.:

$$\langle \dot{A}_1 \dot{A}_2^* \rangle = k \rho_0 (\tau_u N)^2 \delta(t_{31} - t_{32}, f_{\partial 1} - f_{\partial 2}) \quad (34)$$

где ρ_0 - имеет смысл удельной ЭПР подстилающей поверхности; а

$$k \sim P_t \frac{G_{\text{ПРМ}}(\varepsilon_g, \varepsilon_v) G_{\text{ПРД}}(\varepsilon_g, \varepsilon_v)}{R^4} - \text{коэффициент характеризующий зависимость}$$

интенсивности отражений от мощности излучения РЛС P_t , дальности R . С учетом диаграммы направленности РЛС на прием $G_{\text{ПРМ}}$ и передачу $G_{\text{ПРД}}$, выражение (34) приобретает вид:

$$P = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} k \rho_0 (\tau_u N)^2 \exp \left\{ -\frac{\pi (t_3(x) - t_{30})^2}{2 \tau_u^2} \right\} \exp \left\{ -2\pi (f_{\text{д}}(x, z) - f_{\partial 0})^2 T^2 \right\} dx dz + \frac{N_0}{2} (N \tau_u) \quad (35)$$

Интегрирование по подстилающей поверхности удобно произвести в угловых координатах $(\varepsilon_g, \varepsilon_v)$, произведя замену переменных с учетом якобиана преобразования координат:

$$P \sim \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{G_{\text{ПРМ}}(\varepsilon_g(x, z), \varepsilon_v(x, z)) G_{\text{ПРД}}(\varepsilon_g(x, z), \varepsilon_v(x, z))}{R(x, z)^4} e^{\frac{\pi (t_3(x) - t_{30})^2}{2 \tau_u^2}} e^{-2\pi (f_{\text{д}}(x, z) - f_{\partial 0})^2 T^2} dx dz \quad (36)$$

$$J = \begin{vmatrix} \frac{\partial x}{\partial \varepsilon_g} & \frac{\partial x}{\partial \varepsilon_v} \\ \frac{\partial z}{\partial \varepsilon_g} & \frac{\partial z}{\partial \varepsilon_v} \end{vmatrix} = \frac{H^2 \cos \varepsilon_v}{(\sin \varepsilon_v)^3} \quad (37)$$

Таким образом, мощность отражений определяется соотношением:

$$P \sim \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} G_{\text{ПРМ}}(\varepsilon_g, \varepsilon_v) G_{\text{ПРД}}(\varepsilon_g, \varepsilon_v) e^{\frac{\pi \left(\frac{2H}{c \sin \varepsilon_v} - t_{30} \right)^2}{2 \tau_u^2}} e^{-2\pi \left(\frac{2V_{\text{п}} \cos \varepsilon_g \cos \varepsilon_v}{\lambda} - \frac{2V_{\text{y}} \sin \varepsilon_v}{\lambda} - f_{\partial 0} \right)^2 T^2} \frac{\sin \varepsilon_v \cos \varepsilon_v}{H^2} d\varepsilon_g d\varepsilon_v. \quad (38)$$

При относительно высоком разрешении по дальности, когда можно считать, что

высота установки РЛС существенно превышает разрешающую способность РЛС по дальности ($H \gg \delta r$), угловой размер строга дальности является малой величиной, в пределах которой ДНА не меняется и изменение доплеровского набегу мало, в выражении (38) внутренний интеграл по ε_v допустимо заменить на:

$$\begin{aligned}
 & \int_{-\infty}^{\infty} G_{\text{ПМ}}(\varepsilon_g, \varepsilon_v) G_{\text{ПД}}(\varepsilon_g, \varepsilon_v) e^{\frac{\pi \left(\frac{2H}{c \sin \varepsilon_v} t_{30} \right)^2}{2}} e^{-2\pi \left(\frac{2V_x}{\lambda} \cos \varepsilon_g \cos \varepsilon_v - \frac{2V_y}{\lambda} \sin \varepsilon_v - f_{\text{Д0}} \right)^2 T^2} \frac{\sin \varepsilon_v \cos \varepsilon_v}{H^2} d\varepsilon_v = \\
 & = \frac{1}{2H^2} G_{\text{ПМ}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0}) G_{\text{ПД}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0}) e^{-2\pi \left(\frac{2V_x}{\lambda} \cos \varepsilon_g \cos \varepsilon_{v0} - \frac{2V_y}{\lambda} \sin \varepsilon_{v0} - f_{\text{Д0}} \right)^2 T^2} \left\{ \arcsin \left[\frac{H}{R_0 - \delta r} \right] \right. \\
 & \quad \left. \int \sin(2\varepsilon_v) d\varepsilon_v \right\}_{\arcsin \left[\frac{H}{R_0 + \delta r} \right]} = \\
 & = \frac{G_{\text{ПМ}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0}) G_{\text{ПД}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0})}{2H^2} e^{-2\pi \left(\frac{2V_x}{\lambda} \cos \varepsilon_g \cos \varepsilon_{v0} - \frac{2V_y}{\lambda} \sin \varepsilon_{v0} - f_{\text{Д0}} \right)^2 T^2} \frac{32R_0 H^2 \delta r}{(4R_0^2 - \delta r^2)^2} \approx \\
 & \approx G_{\text{ПМ}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0}) G_{\text{ПД}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0}) e^{-2\pi \left(\frac{2V_x}{\lambda} \cos \varepsilon_g \cos \varepsilon_{v0} - \frac{2V_y}{\lambda} \sin \varepsilon_{v0} - f_{\text{Д0}} \right)^2 T^2} \frac{\delta r}{R_0^3}, \quad (39)
 \end{aligned}$$

где $\varepsilon_{v0} = \arcsin \left\{ \frac{H}{R_0} \right\}$ - угол места строга дальности.

Выражение (38) можно представить в виде:

$$P \sim \frac{P_t \lambda^2 \sigma_0}{(4\pi)^3} \frac{\delta r}{R_0^3} \int_{-\infty}^{\infty} G_{\text{ПМ}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0}) G_{\text{ПД}}(\varepsilon_g, \varepsilon_{v0}) e^{-\frac{2\pi \left(\frac{2V_x}{\lambda} \cos \varepsilon_g \cos \varepsilon_{v0} - \frac{2V_y}{\lambda} \sin \varepsilon_{v0} - f_{\text{Д0}} \right)^2}{\Delta f^2}} d\varepsilon_g \quad (40)$$

При этом: $\cos \varepsilon_0 = \sqrt{1 - \left(\frac{H}{R_0} \right)^2}$, $\sin \varepsilon_0 = \frac{H}{R_0}$, R_0 - дальность до строга дальности, соответствующая опорной задержке t_{30} .

Вычисления мощности отражений в координатах «дальность-доплеровская частота» производятся в соответствии с выражением:

$$P \sim \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{R_0^3} G_{\Sigma} \left(\varepsilon_g, \arcsin \left\{ \frac{H}{R_0} \right\} \right) e^{-2\pi \left(\frac{2V_x}{\lambda} \cos \varepsilon_g \sqrt{1 - \left(\frac{H}{R_0} \right)^2} - \frac{2V_y}{\lambda} \frac{H}{R_0} - f_{\text{Д0}} \right)^2 T^2} d\varepsilon_g$$

(41)

С учетом неоднозначности по дальности и частоте выражение (23) имеет вид:

$$P(R_0, f_{\partial 0}) \sim \sum_{m=0}^M \sum_{n=-Nf}^{Nf} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{P_t \lambda^2 \sigma_0}{(4\pi)^3} \frac{\delta r}{\left(R_0 + m \frac{c}{2F_n}\right)^3} G_{\Sigma} \left(\varepsilon_g, \arcsin \left\{ \frac{H}{R_0 + m \frac{c}{2F_n}} \right\} \right) \times$$

$$\times e^{-2\pi \left(\frac{2V_n \cos \varepsilon_g}{\lambda} \sqrt{1 - \left(\frac{H}{R_0 + m \frac{c}{2F_n}} \right)^2} - \frac{2V_y}{\lambda} \frac{H}{R_0 + m \frac{c}{2F_n}} - f_{\partial 0} - nF_n \right)^2 T^2} d\varepsilon_g \quad (42)$$

В соответствии с (42) произведены расчеты распределения мощности отражений с использованием программного пакета *MatLab* и построена модель радиолокационных отражений при установке миллиметровой РЛС на подвижном составе метрополитена.

На рисунке 2 представлена модель спектра мощности отражений от подстилающей поверхности в координатах «Дальность – Частота» и в трехмерных координатах «Дальность – Частота – Мощность» для РЛС с шириной ДН в азимутальной плоскости 30° . Для расчета модели спектра использовались следующие параметры: высота установки антенны $H = 1$ м, длина волны $\lambda = 0,0038$ м, разрешающая способность по дальности $\Delta r = 0,142$ м, путевая скорость $V_n = 7,2$ м/с. Время накопления $nT_M = 9 \cdot 10^{-3}$ с.

На рисунке 3 представлена модель спектра мощности отражений от подстилающей поверхности для сигнала с теми же параметрами что и на рисунке 2 при скорости носителя $V_n = 16,5$ м/с.

Спектр мощности представляет собой характерное тело, ширина которого ограничена по оси частот асимптотой – максимальной частотой Доплера f_{∂} , а по оси дальности ограничено снизу высотой установки антенны H (рисунок 2,3) [3].

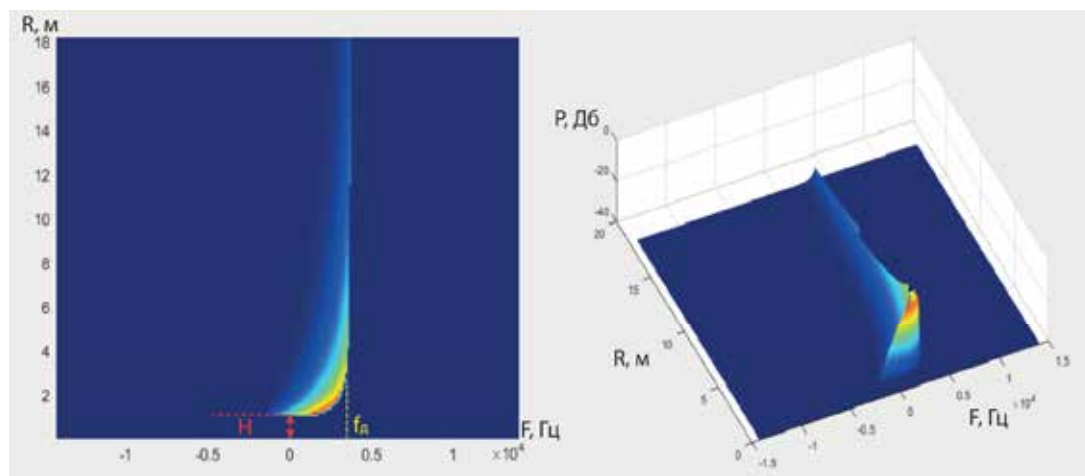


Рисунок 2 – Модель спектра мощности отражений при скорости 7,2 м/с

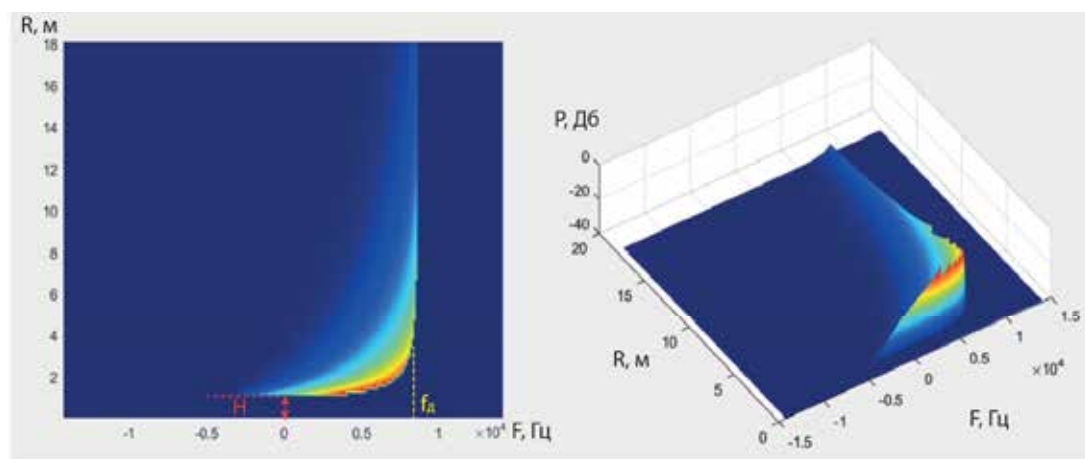


Рисунок 3 – Модель спектра мощности отражений при скорости 16,5 м/с

5 Экспериментальные данные

Для получения экспериментальных данных использована отладочная плата от *Texas Instruments AWR2243Boost*. Основные характеристики радарной платы *AWR2243Boost* приведены в таблице 1 [4].

Т а б л и ц а 1 – Характеристики радарной платы *AWR2243Boost*

Параметр	Номинал
Частота, F	77 – 81 ГГц
Ширина полосы, ΔF	до 4 ГГц
Мощность излучения, P _{изл}	20 мВт
Внутренний шум приёмника, P _ш	12 Дб
Мощность питания, P	5 В
Количество каналов	3 на излучение, 4 на приём
Размеры платы, м	менее 0,1×0,1
Размеры антенны, м	0,03×0,01
Поддержка тактовой частоты, МГц	до 45
Разрядность АЦП, бит	12
Диапазон рабочих температур, °С	от -40 до 140
Вес, г	250.1

РЛС миллиметрового диапазона *AWR2243Boost* установлена на лобовом стекле поезда (рисунок 4) по направлению движения. Для получения экспериментальных данных РЛС съемка произведена в реальных условиях метрополитена, в тоннелях и сложной фоновой обстановке.

На рисунке 5 представлены результаты обработки экспериментальных данных в произвольный момент времени. На рисунке 6 видно, что при соответствующих параметрах модели и РЛС *AWR2243Boost* распределения мощности модели и экспериментальных данных практически совпадают. Таким образом, разработанная модель мо-

жет быть использована в разработке алгоритмов обработки для определения скорости движения состава и их исследовании с использованием гомодинной РЛС с высоким разрешением.



Рисунок 4 – AWR2243Boost, установленная на лобовом стекле поезда метрополитена

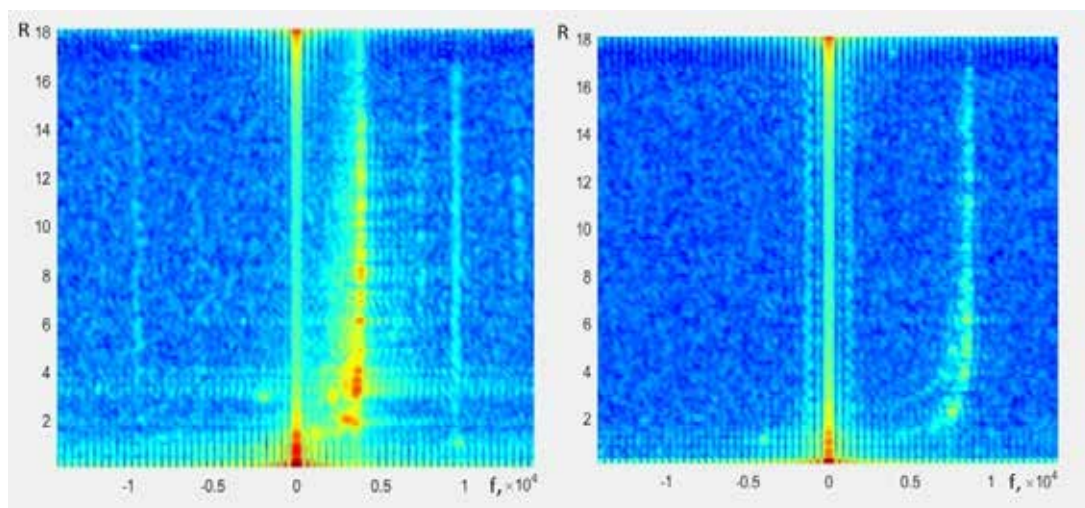


Рисунок 5 - Спектр мощности отражений, полученный экспериментально

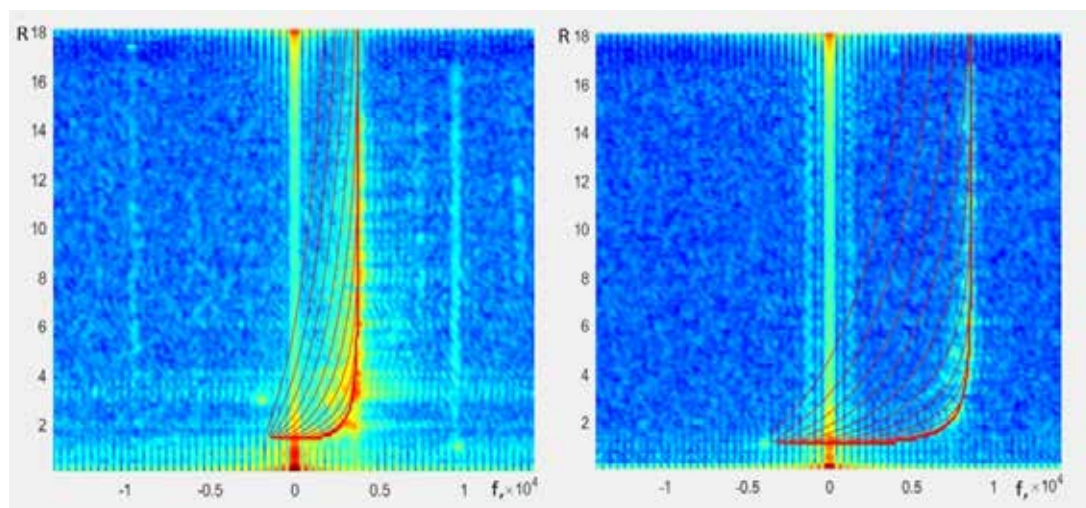


Рисунок 6 – Сопоставление математической модели отраженного сигнала и экспериментальных данных

Результаты эксперимента получены при обработке экспериментальных данных с помощью зарегистрированного программного продукта [5].

Заключение

Анализ формы спектра сигнала, полученного путем математического моделирования, показал практическое совпадение формы спектра реального экспериментального сигнала, отраженного от подстилающей поверхности во время движения поезда в тоннеле метрополитена. Данное соответствие математической модели реальным физическим условиям распространения сигнала позволяет ее использовать при разработке и исследовании алгоритмов обработки радиолокационных данных для измерения скорости платформы, оснащенной гомодинным приёмопередатчиком миллиметрового диапазона.

Литература

- 1 Радиолокационные системы : учебник / В.П.Бердышев, Е.Н.Гарин, А.Н.Фомин [и др.]; под общ. ред. В. П. Бердышева. Красноярск : Сиб. федер. ун-т . 2011. 400 с.
- 2 Фельдман Ю.И., Мандуровский И. А. Теория флуктуаций локационных сигналов, отраженных распределенными целями. Москва : Радио и связь, 1988. 266 с.
- 3 Агеева А.В., Вицукаев А.В., Колтышев Е.Е., Кудрявцева А.А. Применение высокочастотной малогабаритной РЛС AWR2243Boost в подвижных составах метрополитена для измерения скорости поезда // АО «ГРПЗ»: Сборник научных статей. Рязань: ИП Коняхин А.В., 2025.
- 4 AWR2243 Evaluation Module (AWR2243BOOST) mmWave Sensing Solution // User's Guide SPRUIT8D February 2020.
- 5 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2024681124 (РФ). Программа для измерения собственной скорости подвижного состава метро: №2024680184: заявл. 30.08.2024: опубл. 05.09.2024/ Вицукаев А.В., Пав-

лович О.В, Кудрявцева А.А., Бородко Е.А., Агеева А.В.

Агеева Анастасия Владимировна – инженер-электроник, АО «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В.В. Тихомирова», г. Жуковский.

Область научных интересов: радиолокация миллиметрового диапазона.

E-mail: a.ageeva.niip@mail.ru

Почтовый адрес: 140180, Московская область, г. Жуковский, ул. Гагарина, д.3.

Колтышев Евгений Евгеньевич – доктор технических наук, профессор, главный специалист, АО «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В.В.Тихомирова», г. Жуковский.

Область научных интересов: радиолокация миллиметрового диапазона.

Вицукаев Андрей Васильевич – начальник отдела, АО «Научно-исследовательский институт приборостроения имени В.В. Тихомирова», г. Жуковский.

Область научных интересов: радиолокация миллиметрового диапазона.

MATHEMATICAL MODEL OF THE SIGNAL FROM A HOMODYNE SPEED MEASURING DEVICE

This article presents a mathematical model of the signal from a homodyne speed measuring device designed for the rolling stock of a subway system. The model accounts for the peculiarities of the reflected radar signal formation from the underlying surface in real operating conditions. The model has been implemented in the MATLAB programming environment, which enabled an analysis of the impact of parameters of the high-resolution linear frequency-modulated radar and environmental characteristics on the structure of the received signal. The results obtained can be utilized in the development and tuning of radar data processing algorithms for precise speed measurement of a carrier equipped with a millimeter-wave homodyne transceiver.

Keywords: homodyne radar transceiver in the millimeter range, mathematical model of the homodyne speed meter signal, metro rolling stock speed meter.

Ageeva Anastasia Vladimirovna – Graduate student of the Department of Radar and Radio Navigation, Electronics Engineer II Category at the Scientific Research Institute of Instrument Engineering named after V.V. Tikhomirov, Zhukovsky.

Research interests: millimeter-wave radar.

KoltychevEvgenyEvgenyevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Specialist at the Scientific Research Institute of Instrument Engineering named after V.V. Tikhomirov, Zhukovsky.

Research interests: millimeter-wave radar.

Vitsukaev Andrei Vasilievich – Head of Department 40 at the Scientific Research Institute of Instrument Engineering named after V.V. Tikhomirov, Zhukovsky.

Research interests: millimeter-wave radar.

УДК 65.011.46

ЗАМЕНЫ МАТЕРИАЛОВ И КОМПЛЕКТУЮЩИХ В СОСТАВЕ ИЗДЕЛИЙ НА ЭТАПЕ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ЗАКУПОЧНЫХ ПРОЦЕДУР

Жубр А.М.

В статье рассматривается функциональный цикл снабжения крупного предприятия оборонно-промышленного комплекса РФ. Дано описание применения правил замены материалов и комплектующих изделий, как одного из методов управления закупочными процедурами на этапе проработки потребности производства. Приведены результаты анализа статистики закупок материалов и покупных комплектующих изделий с учетом применяемых правил замен на этапе проработки потребности.

Ключевые слова: организация производства, планирование производственных процессов, функциональный цикл снабжения, повышение эффективности, правило замены материалов и комплектующих.

Введение

Жизненный цикл изделия (ЖЦ) – совокупность явлений и процессов, повторяющаяся с периодичностью, определяемой временем существования типовой конструкции изделия от ее замысла до утилизации или конкретного экземпляра изделия от момента завершения его производства до утилизации [1].

Производство – типовая стадия ЖЦ [2], неотделимой частью которой является закупка материалов и покупных комплектующих изделий (ПКИ), необходимых для изготовления итогового изделия.

Планирование и исполнение закупок - сложный процесс, который непосредственно влияет на результат всего производственного цикла. Основная задача управления закупками на предприятии – удовлетворение потребности в сырье, материалах и ПКИ с максимально возможной эффективностью.

В настоящее время крупные предприятия оборонно-промышленного комплекса РФ ориентированы не только на серийное производство продукции военного назначения (ПВН), но и на увеличение производства гражданской продукции, разработку и изготовление продукции в рамках научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ, а также оперативное выполнение ремонтно-восстановительных работ в условиях Специальной военной операции. Все эти факторы существенно усложняют задачу специалистов по закупкам, что приводит к необходимости разработки новых методов и методик для оптимизации и повышения эффективности планирования и реализации закупочного цикла.

1 Функциональный цикл снабжения

Функциональный цикл снабжения, или закупочный цикл – промежуток времени

между возникновением потребности и получением заказанной продукции [3]. Функциональный цикл снабжения можно разделить на несколько этапов (Рисунок 1 – Этапы функционального цикла снабжения), каждый из которых предполагает выполнение ряда действий специалистов по закупкам, других структурных подразделений предприятия и поставщиков-контрагентов.

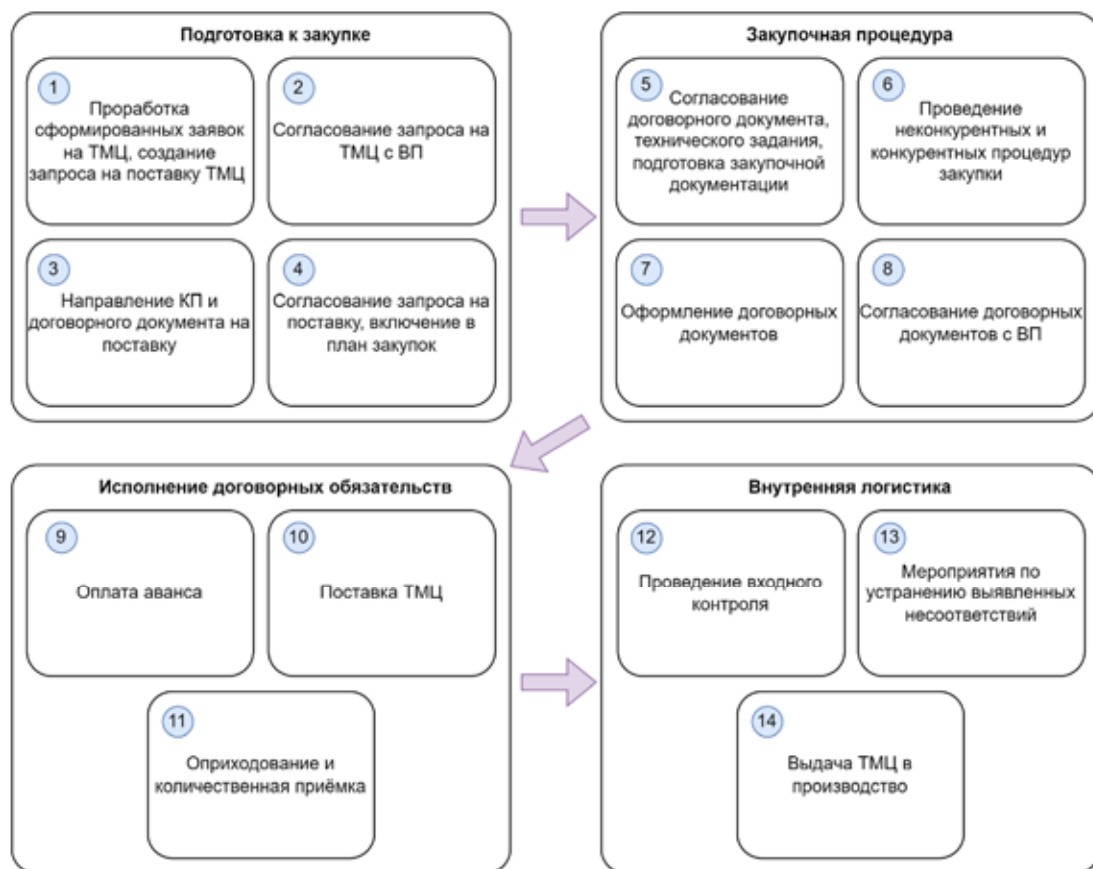


Рисунок 1 – Этапы функционального цикла снабжения

Первый этап в закупочном цикле – определение и проработка потребности в сырье, материалах и ТМЦ. В общем виде потребность рассчитывается по формуле

$$M_i = \sum_{j=1}^n H_{ij} N_j \quad (1)$$

где M – потребность материалов (кол-во материалов);

H – норма расхода материальных ресурсов -го наименования на j вид изделия (кол-во материала на единицу продукции);

N – производственная программа j вида продукции (кол-во единиц продукции);

n – ассортимент (кол-во видов выпускаемых изделий).

Потребность формируется на основании заявок структурных подразделений предприятия, в которых указано количество требуемых позиций для закупки и срок, к которому необходимо обеспечить указанную номенклатуру. Перечень номенклатурных позиций, которыми необходимо обеспечить производство, зависит от конструк-

торской и технологической документации изделий, а сроки, к которым необходимо закупить и оприходовать данную номенклатуру на склад, определены производственным планом. Стоит обратить внимание, что некоторые позиции номенклатуры может на предприятии закупаться по принципу неснижаемого запаса, т.е., задачей управления закупок является поддержание директивно установленного количества позиций номенклатуры на складах предприятия [4].

Проработка потребности – одна из самых сложных и комплексных задач в рамках функционального цикла снабжения, т.к. управлению закупок необходимо выполнить данную задачу наиболее эффективно.

Проработку потребности, как часть всего закупочного цикла, можно опередить как целенаправленный процесс (ЦНП). Согласно теории эффективности целенаправленных процессов (ТЭЦНП), эффективность – комплексное свойство ЦНП, которое можно представить в виде трёхкомпонентного вектора [5]

$$\langle V_{\langle n_1 \rangle}, R_{\langle n_2 \rangle}, T_{\langle n_3 \rangle} \rangle, \quad (2)$$

где $V_{\langle n_1 \rangle}$ – показатель (вектор) виртуального операционного целевого (позитивного) эффекта, результативность операции;

$R_{\langle n_2 \rangle}$ – показатель (вектор) виртуальных затрат операционных ресурсов (побочных, негативных эффектов) на получение целевых эффектов, ресурсоёмкость операции;

$T_{\langle n_3 \rangle}$ – показатель (вектор) виртуальных затрат операционного времени (побочных, негативных эффектов) на получение целевых эффектов, оперативность операции.

Эффективный функциональный цикл снабжения – это обеспечение производства требуемыми материалами надлежащего качества с минимальными человеческими и материальными затратами точно и вовремя.

Сложность этой задачи обусловлена тем, что специалистам по снабжению и закупкам необходимо в сроки, не влияющие на результат производства, унифицировать список требуемой номенклатуры, минимизировав количество договорных документов, которые необходимо заключить с поставщиками. При этом для стабильности производственного процесса всего предприятия отделу снабжения необходимо выполнить свою работу, не нарушив директивные сроки поставки требуемых для производства материалов и ПКИ, вопреки постоянно меняющейся ситуации на рынке и разные сроки поставки одного и того же материала у разных поставщиков.

2 Правила замены материалов и комплектующих

Одним из факторов, который существенно усложняет задачу проработки потребности, является использование в конструкторской документации устаревших наименований материалов и ПКИ с неактуальными ГОСТами. По этой причине перед формированием запроса на поставку сотрудникам необходимо проанализировать такие позиции и подобрать современные аналоги на рынке.

Основной метод, с помощью которого осуществляются подбор и замена позиции в составе изделия на альтернативную, является использование карточек замены материала и правил замен. Эти понятия введены в оборот установленным на предприятии регламентом [8].

Карточка замены материала – это согласованная с конструктором и технологом допустимая замена одной позиции номенклатуры на другую в составе детали и сборочной единицы (ДСЕ). Карточка замены материала соответствует допустимым заменам в КД [6], или же может создаваться сотрудниками отдела вручную, но должна быть обязательно согласована с конструктором и технологом.

Примеры правил замен представлены в таблице 1.

Характеристиками правила замены являются:

- номенклатурная позиция (заменяемая);
- номенклатурная позиция (заменяющая);
- ДСЕ;
- причина замены.

Причина замены - запись, утверждённого на предприятии справочника, с помощью которого классифицируются причины замен материалов и ПКИ в составе в составе изделий на этапе проработки потребности.

Т а б л и ц а 2 - Примеры правил замен

Причина замены	Номенклатурная позиция (заменяемая)		Номенклатурная позиция (заменяющая)	
	Наименование	ОКПД2	Наименование	ОКПД2
Допуск есть в КД	Диод КД105Б ТУ ТР3.362.060	27.40.1	Диод КД105Б ТУ6341-009-07619062-00	27.40.1
Корректировка нормативной документации (ГОСТ, ТУ, ОСТ)	Герметик Ан-117 ОСТ 92-1005-84	20.30.22	Герметик Анатерм-117 ТУ 2257-424-00208947-2004	20.30.22
Минимальная транзитная норма	Круг h12-10 ГОСТ 7417-75/40Х-В-Н ГОСТ 4543-71	24.10.6	Круг h11-10 ГОСТ 7417-75/40Х-В-Н ГОСТ 4543-2016	24.10.6
Отсутствие материала на рынке	Подшипник 314 ГОСТ 8338-75	28.15.10	Подшипник 6-314А ГОСТ 8338-75 ГОСТ 520-2011	28.15.10
Складские остатки	Швеллер 12У ГОСТ 8240-97/325-09Г2С-св-4 ГОСТ 19281-89	24.10.7	Швеллер 12У ГОСТ 8240-97/345-15-09Г2С-ГС ГОСТ 19281-2014	24.10
Унификация материалов	Шестигранник h12-8 ГОСТ 8560-78/40Х-В-Н ГОСТ 4543-2016	24.10.6	Шестигранник h11-8 ГОСТ 8560-78/40Х-В-Н ГОСТ 4543-2016	24.10.6

В процессе проработки потребности в материалах и ПКИ ответственные со-

трудники на основании своей экспертной оценки принимают решение использовать допустимую замену для обеспечения нужд производства по заказам, создавая правила замены на основании карточки замены материала.

Правило замены материала - применение карточки допустимой замены на этапе проработки потребности, решение заменить одну номенклатуру на другую в составе изделия в процессе изготовления изделия в определённом производственном заказе.

Характеристиками правила замены являются:

- номенклатурная позиция (заменяемая);
- номенклатурная позиция (заменяющая);
- ДСЕ;
- причина замены;
- производственный заказ.

Общий реестр действующих карточек замен формируется двумя способами:

- на основании допустимых замен в КД и ТД («Допуск есть в КД»);
- создаются сотрудниками отдела снабжения для оптимизации использования свободных остатков на складах или реагированию на текущее состояние рынка («Минимальная транзитная норма», «Отсутствие материала на рынке», «Складские остатки»);

- создаются сотрудниками отдела снабжения для исправления неточностей в данных в информационных системах, внедренных на предприятии («Корректировка нормативной документации (ГОСТ, ТУ, ОСТ)», «Унификация материалов»).

3 Анализ статистики закупок на предприятии оборонно-промышленного комплекса

В рамках данного исследования был проведен анализ функционального цикла снабжения на предприятии АО «Обуховский завод». Была собрана статистика данных о поступлениях материалов и ПКИ за период с 2017 по 2024 год. Для формирования целевой выборки было проанализировано:

- документов прихода 51541 шт.;
- позиций в спецификации документов прихода 181966 шт.;
- уникальных позиций номенклатуры 60486 шт.;
- правил замен 38018 шт.;
- заменяемых позиций 4735 шт.;
- заменяемых позиций 2809 шт.

Полученные данные о поступлениях были сгруппированы в разрезе классификатора ОКПД2 [7]. В итоговую выборку были отобраны группы ОКПД2 материалов и ПКИ, для которых характерны:

- большой процент от общего количества закупок;
- максимальное время доставки (время от момента отгрузки товара поставщиком до оприходования товара на склад предприятия) более двух недель;
- большое количество правил замен, в которых позиция фигурирует как заменяемая, так и заменяющая.

Полученные результаты представлены в Таблица 3 – Результаты анализа статистики закупок материалов и ПКИ в разрезе групп ОКПД2.

Таблица 3 – Результаты анализа статистики закупок материалов и ПКИ в разрезе групп ОКПД2

ОКПД2		Процент от общей закупки, %	Максимальный срок доставки, дни	Кол-во поступлений, шт.	Кол-во замен, шт.
24.10	Железо, чугун, сталь и ферросплавы	6,56	42	4306	9942
24.10.6	Прокат сортовой и катанка горячекатаные стальные	3,74	32	7908	48034
27.32	Провода и кабели электронные и электрические прочие	1,06	40	1886	26
24.1	Железо, чугун, сталь и ферросплавы	0,79	14	609	1396
24.42	Алюминий	0,71	41	1093	198
27.33.13	Разъемы, розетки и прочая аппаратура коммутации или защиты электрических цепей, не включенная в другие группировки	0,65	154	3619	97
24.45	Металлы цветные прочие	0,52	33	577	59
25.94.11	Изделия крепежные резьбовые из черных металлов, не включенные в другие группировки	0,50	172	12216	69
24	Металлы основные	0,44	15	196	421
24.42.22	Прутки, катанка и профили из алюминия или алюминиевых сплавов	0,36	41	651	344
24.20.13	Трубы круглого сечения прочие стальные	0,36	158	620	334
20.16	Пластмассы в первичных формах	0,33	58	5082	19
25.99	Металлоизделия готовые прочие, не включенные в другие группировки	0,31	416	2366	17

Для полученных групп ОКПД2 были подобраны производственные заказы, по которым объем материальных затрат по отобранным группам ОКПД2 превышал 50% или был более 75 млн рублей. Примеры полученных обезличенных данных по производственным заказам представлены в Таблица 4 – Результаты анализа затрат по производственным заказам.

Т а б л и ц а 4 – Результаты анализа затрат по производственным заказам

Производственный заказ	Процент от всех материаль- ных затрат по заказу, %	Процент позиций в КД, ко- торый не закупался, %
Заказ 1	41	52
Заказ 2	6	45
Заказ 3	61	52
Заказ 4	4	44
Заказ 5	86	40
Заказ 6	25	52
Заказ 7	82	39
Заказ 8	30	51
Заказ 9	54	50
Заказ 10	53	49

В результате анализа полученных результатов можно отметить:

- в рамках выполнения производственных заказов группы ОКПД2 материалов и ПКИ, для которых регулярно используются правила замен в процессе проработки потребности, имеют весомую долю от всех материальных затрат как в процентном, так и в денежном эквиваленте;

- в отдельных случаях в конструкторской документации объем материалов и ПКИ, которые ранее не закупались, может достигать до 50% от общего количества номенклатуры в составе изделия. Однако, все позиции потребности были обеспечены в процессе ЖЗ изделий.

Исходя из вышесказанного, можно сделать два вывода:

- 1) Повышение эффективности функционального цикла снабжения может иметь весомый экономический эффект за счёт снижения материальных и общепроизводственных затрат;

- 2) Правила замены активно используются для обеспечения потребности, что делает целесообразным дальнейшие исследования в части оптимизации их применения в работе подразделений управления закупок.

Заключение

Функциональный цикл снабжения – один из ключевых этапов производственного процесса, оказывающий прямое и существенное влияние на эффективность производственного процесса.

Цель управления закупками – обеспечить предприятие материалами требуемого качества, в заданные сроки, минимизировав человеческие и материальные затраты, включая не только цену, но и общие производственные затраты на транспортировку и хранение закупленной продукции. Задача управления закупками в условиях санкций и постоянных изменений рынка – обеспечить бесперебойную поставку сырья, материалов и ПКИ для обеспечения динамически изменяющегося производственного плана.

Повышение эффективности функционального цикла снабжения – важная задача для крупных предприятий оборонно-промышленного комплекса РФ в настоящее время, это делает актуальным и востребованным разработку новых методов оптимизации

и повышения эффективности закупочных циклов.

Новые методики оптимизации и повышения эффективности функционального цикла снабжения, и разработанные на их основе системы поддержки принятия решений для сотрудников управления закупками помогут качественно повлиять на эффективность всего жизненного цикла изготавливаемых изделий.

Литература

1 ГОСТ Р 56136-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Термины и определения.

2 ГОСТ Р 56135-2014. Управление жизненным циклом продукции военного назначения. Общие положения.

3 Лукинский В.С. Логистика и управление цепями поставок: учебник и практикум для вузов / В.С. Лукинский, В.В. Лукинский, Н.Г. Плетнева. Москва: Издательство Юрайт, 2024. 359 с.

4 Оладов Н.А. Точно вовремя для России. Практика применения ERP-систем / Н.А. Оладов, С.В. Питеркин, Д.В. Исаев. М.: Альпина Паблишерз, 2010. 368 с.

5 Петухов Г.Б., Якунин В.И. Методологические основы внешнего проектирования целенаправленных процессов и целеустремленных систем. М.: АСТ, 2006. 504 с.

6 ГОСТ Р 2.109-2023. Единая система конструкторской документации. Основные требования к чертежам.

7 ОК 034-2014. Общероссийский классификатор продукции по видам экономической деятельности.

8 Регламент формирования и утверждения допустимых в основном производстве замен ТМЦ в информационных системах.

Жубр Антон Максимович – системный аналитик, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: разработка и совершенствование методов и моделей организации производства, оптимизация и повышение эффективности функционального цикла снабжения.

E-mail: amzhubr@yandex.ru

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 120, лит. ЕЦ.

REPLACEMENT OF MATERIALS AND COMPONENTS IN THE COMPOSITION OF PRODUCTS AT THE STAGE OF PROCUREMENT PROCEDURES

The article considers the functional supply cycle of a large enterprise of the military-industrial complex. The application of the rules for the replacement of materials and components is described as one of the methods of managing procurement procedures within the production process. The results of the analysis of statistics on purchases of materials and purchased components, taking into account the applicable replacement rules at the stage of working out the need, are presented in the article.

Keywords: organization of production, planning of production processes, functional supply cycle, efficiency improvement, the rule of replacement of materials and components.

Zhubr Anton Maksimovich – System analyst, JSC "Obukovsky Plant", St. Petersburg.

Research interests: development and improvement of methods and models of production organization, optimization and efficiency improvement of the functional supply cycle.

УДК 351.814

МОДЕЛЬ КОНТРОЛЯ ПОЛЕТА И ОКАЗАНИЯ ПОМОЩИ ВОЗДУШНЫМ СУДАМ ГОСУДАРСТВЕННОЙ АВИАЦИИ ПРИ ВОЗНИКНОВЕНИИ ОСОБЫХ СИТУАЦИЙ

Алтухов Э.Ю., Наполов Е.Ю.

Представлена модель вывода самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией путем параллельного сближения в упрежденную точку, который позволяет точно определить координаты точки встречи и время полета самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией на основе балансного уравнения относительно времени достижения упрежденной точки.

Ключевые слова: особые ситуации; безопасность полетов; упрежденная точка; самолет-лидер.

Введение

Воздушный транспорт является важным компонентом экономической системы страны. Воздушные суда государственной и гражданской авиации осуществляют перевозку пассажиров и грузов на многочисленных внутренних и зарубежных воздушных линиях, обеспечивают транспортные потребности геологов и нефтяников, выполняют задания по доставке почты, оказанию срочной медицинской помощи, патрулированию нефте- и газопроводов, осуществляют ледовую разведку, аэрофотосъемку местности, прокладку линий электропередач, строительно-монтажные работы.

Обеспечение безопасности полётов является одной из основных задач эксплуатантов воздушного транспорта, главным показателем качества деятельности государственной и гражданской авиации. Эта задача комплексная, поскольку безопасность зависит от качества работы всех составных звеньев авиационной транспортной системы: эксплуатируемой авиационной техники, лётного и технического персонала, наземной техники и персонала служб управления воздушным движением и обеспечения полёта.

На современном этапе развития авиационной отрасли обеспечение безопасности полетов воздушных судов затрагивает не только социально-политические и технические аспекты общественной жизни, но и становится экономической проблемой. Международная организация гражданской авиации, членом которого является и Россия, провозгласила безопасность полетов наивысшим приоритетом деятельности самой организации и стран-членов ИКАО. Проблема обеспечения безопасности полетов стала еще более сложной в условиях глубоких структурных сдвигов в сторону рыночных отношений в общественно-экономической формации нашего общества, делегирования полной самостоятельности конструкторским бюро и ведения ими активной предпринимательской деятельности.

Исследования большого массива развития и протекания авиационных происшествий и инцидентов, показали, что частота отказов авиационной техники в полете в

четыре раза превосходит частоту ошибок экипажей воздушных судов (ВС). При этом переход особых ситуаций в катастрофические происходит более чем в четыре раза чаще из-за ошибок экипажей ВС, чем из-за отказов авиационной техники (АТ).

Главную роль в стратегии предотвращения авиационных происшествий должны сыграть экипажи воздушных судов во взаимодействии со специалистами группы руководства полетами. Необходимо переходить на систему управления качеством эксплуатационных процедур и персоналом в авиации на основе выбранных стратегий, которые в большинстве своем, требуют усовершенствования каждодневных функций и технологии управления.

1 Существующий порядок действий группы руководства полетами государственной авиации при возникновении особых ситуаций

Высокий уровень аварийности в государственной авиации является одним из важных факторов, влияющим на готовность авиации к выполнению задач по предназначению и составляющим угрозу обеспечения безопасности России. Несмотря на поступление на вооружение в государственную авиацию новой авиационной техники, имеющей новые средства связи, системы пилотирования и автоматизации, случаи возникновения особых ситуаций с воздушными судами государственной авиации в полете продолжают иметь место в летной практике.

Особая ситуация – ситуация, возникающая в полете в результате воздействия опасных факторов. К особым ситуациям в полете, в соответствии с Федеральными авиационными правилами производства полетов государственной авиации, относятся [1, 3, 5]:

- потеря пространственной ориентировки;
- вынужденное покидание воздушного судна;
- попадание в метеорологические условия, к полетам в которых экипаж не подготовлен;

- потеря ориентировки;
- отказ систем и оборудования воздушного судна;
- потеря радиосвязи;
- внезапное ухудшение состояния здоровья или ранение членов экипажа.

Рассмотрим такие особые ситуации, как потеря ориентировки и (или) радиосвязи.

Ориентировка считается потерянной, когда экипаж не знает своего местонахождения и не может определить направление полета к пункту назначения.

При потере ориентировки командир воздушного судна согласно Федеральных авиационных правил производства полетов государственной авиации обязан [5]:

- не допускать необдуманных, поспешных действий и полета с произвольными курсами;

- доложить органу управления полетами о потере ориентировки, остатке топлива и условиях полета;

- включить сигнал «Бедствие»;
- передать по радиосигнал «Полюс»;
- занять на выгоднейшую высоту для обнаружения воздушного судна радиотехническими средствами и скорость максимальной продолжительности полета;

- применить наиболее эффективный в данных условиях способ восстановления ориентировки, согласуя свои действия с органами управления полетами.

Орган управления полетами, получивший доклад от командира воздушного судна о потере ориентировки или установив факт потери ориентировки по другим данным, после обнаружения воздушного судна обязан доложить на вышестоящий пункт управления, оказать помощь его экипажу в восстановлении ориентировки и выводе на маршрут полета или аэродром посадки. Для вывода воздушного судна на аэродром посадки может использоваться воздушное судно-лидер с соответствующими летно-техническими характеристиками.

Радиосвязь с экипажем воздушного судна считается потерянной, если в течение 5 минут при использовании всех каналов радиосвязи на неоднократные запросы по каждому из них экипаж не отвечает и не выполняет подаваемые команды.

Если восстановить радиосвязь не удалось, экипаж должен включить сигнал «Бедствие», периодически обозначать себя нажатием кнопки «Знак» («Опознавание») и в зависимости от обстановки продолжить или прекратить выполнение задания. Для приема команд использовать автоматический радиокompас и аппаратуру приборного наведения и продолжать передачу установленных докладов о своем местонахождении, действиях и режиме полета.

В этом случае экипаж обязан [4, 5]:

- при выходе на аэродром посадки занять эшелон для воздушных судов с отказавшей радиосвязью, объявленный на предполетных указаниях;

- при полете под облаками, если позволяет высота, в облака не входить;

- при полете по приборам строго выдерживать установленные эшелон, режим и профиль полета;

- выполнять полет с таким расчетом, чтобы прибыть на аэродром посадки в предусмотренное планом полета время или в расчетное время, о котором экипаж докладывал органу управления полетами, но по возможности не позднее, чем через 30 минут после расчетного времени;

- выход с маршрута (воздушной трассы) на аэродром посадки производить по установленной для данного аэродрома схеме;

- полет в районе аэродрома и заход на посадку выполнять с точным соблюдением плана полета (перелета) и инструкцией по производству полетов в районе аэродрома (для перелетающих экипажей – требований документов аэронавигационной информации), усилив осмотрительность;

- ночью при заходе на посадку на четвертом развороте или после пролета дальнего приводного радиомаркерного пункта обозначить себя и запросить посадку миганием авиационно-навигационных огней (фарой) или пуском белой ракеты.

Для восстановления радиосвязи с экипажем и обеспечения безопасности полета руководитель полетами обязан [3, 4, 5]:

- включить все средства связи и радиотехнического обеспечения полетов для обнаружения воздушного судна и контроля за его полетом, доложить на вышестоящий пункт управления, имеющий данные о местонахождении воздушного судна, следующего без радиосвязи, и на основе полученной информации обеспечить безопасность полета других воздушных судов;

- использовать все каналы связи (в том числе аппаратуру приборного наведе-

ния, канал приводной радиостанции – автоматический радиоконпас), каналы связи других пунктов управления, а также радиосвязь через воздушные суда, находящиеся в воздухе;

- продолжать передавать команды экипажу, а убедившись в их выполнении – руководить полетом воздушного судна;

- освободить заданный экипажу эшелон и ближайший (нижний и верхний) эшелоны для обратного полета, за 15 минут до расчетного времени прибытия воздушного судна, следующего без радиосвязи, освободить круг полетов;

- внимательно следить за воздушной обстановкой (особенно ночью и в сложных метеорологических условиях), информировать другие экипажи или подавать им команды для обеспечения безопасности полета воздушного судна, следующего без радиосвязи;

- в случае необходимости выслать воздушное судно-лидер для вывода воздушного судна, следующего без радиосвязи, на свой или запасной аэродром.

Таким образом, при невозможности восстановить ориентировку или радиосвязь, разрешение особой ситуации возможно путем подвода воздушного судна-лидера для оказания помощи воздушному судну с особой ситуацией при выводе на аэродром посадки. Анализ существующего порядка действий группы руководства полетами при оказании помощи экипажам воздушных судов с особой ситуацией (потеря ориентировки и радиосвязи) показал, что вопросу определения координаты точки встречи и времени полета самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией никто не уделял внимания.

2 Модель контроля полетов и оказания помощи выполняется путем подвода самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией путем параллельного сближения в упрежденную точку

Разработанная модель контроля полетов и оказания помощи выполняется путем подвода самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией путем параллельного сближения в упрежденную точку, позволяет точно определить координаты точки встречи и время полета самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией на основе балансного уравнения относительно времени достижения упрежденной точки [1, 2].

На основе исходных данных о параметрах полета воздушного судна с особой ситуацией определяются параметры полета самолета-лидера в точку встречи, как показано на рисунке 1.

Таким образом, зная параметры движения воздушных судов, задача наведения методом параллельного сближения решается следующим образом. В первую очередь необходимо определить угол визирования воздушного судна с особой ситуацией

$$\varphi = \arctg \frac{y_{oc}}{x_{oc}}. \quad (1)$$

Дальность до воздушного судна с особой ситуацией определяется формулой:

$$D = \sqrt{(x_l - x_{oc})^2 + (y_l - y_{oc})^2}. \quad (2)$$

Потребный угол разворота самолета-лидера для полета в точку встречи является суммой угла визирования воздушного судна с особой ситуацией и угла между линией визирования и направлением в точку встречи

$$\alpha = \beta + \varphi, \quad (3)$$

$$\text{где } \beta = \arcsin\left(\frac{V_{oc}}{V_l} \sin(\psi + \varphi)\right), \quad (4)$$

$$\psi = K_{oc} - 270,$$

K_{oc} – курс воздушного судна с особой ситуацией.

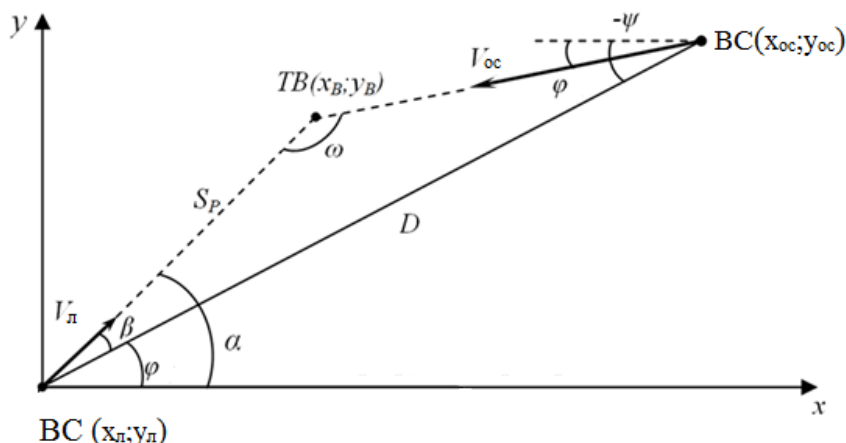


Рисунок 1 – Модель подвода самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией путем параллельного сближения в упрежденную точку

Для нахождения пути, проходимого самолетом-лидером в точку встречи с воздушным судном с особой ситуацией S , необходимо определить угол встречи (ω), который имеет следующий вид

$$\varphi = 180 - (\beta + \varphi + \psi). \quad (5)$$

Следовательно,

$$S = \frac{D \cdot \sin(\psi + \varphi)}{\sin(\omega)}. \quad (6)$$

Координаты точки встречи вычисляются следующим образом:

$$x_B = S \cos \alpha, \quad (7)$$

$$y_B = S \sin \alpha. \quad (8)$$

Для определения точности вычислений необходимо определить баланс времени полета самолета-лидера и воздушного судна с особой ситуацией в мгновенную точку встречи по формуле

$$t_H = \frac{S}{V_l} = \frac{\sqrt{(x_{oc} - x_B)^2 + (y_{oc} - y_B)^2}}{V_{oc}}, \quad (9)$$

где t_H – время наведения [4].

После определения координат точки встречи и времени полета самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией задача оказания помощи является решенной.

Заключение

Таким образом, разработанная модель контроля полета и оказания помощи воз-

душным судам государственной авиации при возникновении особых ситуаций путем параллельного сближения в упрежденную точку позволяет точно определить координаты точки встречи и время полета самолета-лидера к воздушному судну с особой ситуацией, а также повысит точность выдачи координат лицами группы руководства полетами государственной авиации при оказании помощи экипажам воздушных судов с особой ситуацией (потеря ориентировки и радиосвязи).

Литература

1 Брандис П.А. Основы теории и техники современной радиолокации. Методы и средства цифровой обработки сигналов в РЛС. Учебное пособие. Харьков: ВИРТА ПВО им. Говорова Л.А., 1991. 99 с.

2 Веников В.А. Теория подобия и моделирования. М.: Высшая школа, 1976. 479 с.

3 Данилов В.Б. Безопасность полетов. Самара: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2012. 148 с.

4 Теория и методика наведения / Под ред. А.В.Сафронова. Ч.: Филиал ВУНЦ «ВВС» ВВА., 2021. – 411 с.

5 Приказ Министра обороны Российской Федерации от 24 сентября 2004 г. № 275 «Об утверждении федеральных авиационных правил производства полетов государственной авиации».

Алтухов Эдуард Юрьевич – начальник отдела (полигонов и технических средств обучения Воздушно-космических сил) управления боевой подготовки Главного командования ВКС Министерства обороны Российской Федерации, г. Москва.

Область научных интересов: радионавигационные системы и комплексы, управление воздушным движением.

E-mail: aлови@yandex.ru

Наполов Евгений Юрьевич – старший офицер (исследователь) исследовательского отдела (боевого управления и руководства полетами) Государственного центра подготовки авиационного персонала и войсковых испытаний Министерства обороны Российской Федерации, г. Липецк.

Область научных интересов: радионавигационные системы и комплексы, управление воздушным движением.

E-mail: napolovi@yandex.ru

Почтовый адрес: 398002, Липецк, улица Гагарина, 61А.

MODEL FOR FLIGHT CONTROL AND ASSISTANCE TO THE HOUSE OF STATE AVIATION TO BRING SPECIAL SITUATIONS

Model of the leading the leader aircraft to the aircraft with a special system is presented by parallel rapprochement to the entrusted point, which allows you to accurately determine the coordinates of the meeting point and the flight time of the-leader to the aircraft with a spe-

cial situation on the basis of a balanced equation, the time for achieving the proceeding the proceeded point.

Keywords: special situations; flight safety; Entrusted point; The aircraft leader.

Altukhov Eduard Yuryevich – Head of the department (ranges and technical training facilities for the aerospace forces) directorate of combat training of the main command of the Air Force of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Moscow.

Research interests: radio navigation systems and complexes, air traffic control.

Napolov Evgeny Yuryevich – Senior officer (researcher) of the research department (combat control and flight guidance) the state center for aviation personnel training and military tests of the Ministry of Defense of the Russian Federation, Lipetsk.

Research interests: radio navigation systems and complexes, air traffic control.

УДК 621.376

ФАЗОВАЯ И ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДУЛЯЦИЯ СИГНАЛОВ НОВЫМИ КОМПЛЕКСНЫМИ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЯМИ

Ненашев В.А., Чембарисова Р.И.

В настоящее время в системах радиолокации и радионавигации широко применяются сигналы, модулированные М-последовательностью благодаря их уникальным корреляционным свойствам. Однако довольно высокие уровни боковых лепестков (БЛ) автокорреляционной функции (АКФ) могут негативно сказываться на корректности функционирования систем обнаружения. Поэтому актуальной задачей является поиск новых комплексных последовательностей, обладающих более низкими уровнями БЛ нормированной автокорреляционной функции (НАКФ), а также генерация сигналов, модулированных ими. Целью данного исследования является поиск новых комплексных последовательностей на основе традиционных М-последовательностей, для которых уровень БЛ НАКФ ниже. Это понижение уровней БЛ НАКФ достигается за счет замены традиционного симметричного алфавита, состоящего из положительных и отрицательных единиц на несимметричный, состоящий из положительных единиц и комплексного значения в структуре М-последовательности. В рамках данного исследования следует проанализировать характер изменения БЛ НАКФ и определить комплексные значения, при которых уровни БЛ НАКФ будут наименьшими для новых комплексных последовательностей. В исследовании используются численные методы поиска комплексных значений последовательностей. Проводятся компьютерные эксперименты для оценки уровней БЛ НАКФ на основе полученных выражений, описывающих характер изменения каждого БЛ НАКФ. Кроме того, исследуется фазовая модуляция сигнала сгенерированной комплексной последовательностью, а также широтно-импульсная модуляция с варьируемой амплитудой и шириной элементарных импульсов. Анализируются автокорреляционные свойства полученных сигналов, модулированных одновременно по фазе и ширине. Полученные результаты включают графики аналитических зависимостей, описывающие уровни БЛ НАКФ, по которым и осуществляется поиск значений комплексных последовательностей, а также анализируются изменения ширины главного лепестка и БЛ НАКФ в зависимости от длительности элементарного импульса при разных коэффициентах заполнения. Практическое использование комплексных последовательностей и модулированных по ним сигналов, подтвердило улучшение их корреляционных свойств. Такое улучшение может быть использовано в малогабаритных бортовых радиолокационных и радионавигационных системах.

Ключевые слова: М-последовательность; комплексная последовательность; автокорреляционная функция; боковые лепестки; анализ последовательностей; фазовая

модуляция; широтно-импульсная модуляция; системы радиолокации и радионавигации.

Введение

В радиолокационных системах [1, 2] сигналы, модулированные М-последовательностью, применяются для генерации зондирующих сигналов, что позволяет повысить точность определения дальности до объектов и обеспечить их обнаружение с высокой вероятностью. Кроме того, М-последовательности играют важную роль в разработке многопозиционных систем бортового контроля, используемых в авиационных и космических комплексах [3, 4].

При исследовании свойств последовательностей актуальной задачей является уменьшение уровней боковых лепестков (БЛ) нормированной автокорреляционной функции (НАКФ), что обеспечивается генерацией новых последовательностей через замену отрицательных элементов кода в структуре М-последовательности.

Научная школа профессора В. Ипатова внесла значительный вклад в теорию широкополосных сигналов для радиолокации, разработав методы формирования троичных М-последовательностей с нулевыми БЛ автокорреляционной функции (АКФ), в которых предложен подход к построению фильтров Ипатова для компенсации БЛ АКФ. Троичные М-последовательности с нулевыми БЛ АКФ представляют собой специальные кодовые последовательности, имеющие алфавит $[-1; 0; +1]$. Их основная особенность – идеальная АКФ, у которой БЛ равны нулю. Фильтры Ипатова разработаны для подавления БЛ АКФ, которые возникают при использовании сигналов, модулированных такими последовательностями. [5].

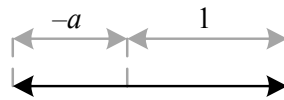
В данной статье предлагается способ генерации новых комплексных последовательностей с более низкими БЛ АКФ на основе традиционных двоичных М-последовательностей, а также ставится задача по дальнейшим исследованиям.

1 Генерация новых комплексных последовательностей

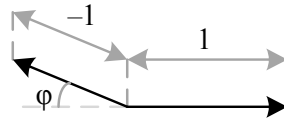
Одним из способов решения задачи уменьшения БЛ АКФ является отказ от традиционного симметричного алфавита, состоящего из $[1; -1]$ в пользу несимметричного $[1; -q]$, где отрицательный элемент может быть действительным и комплексным числом.

В комплексном представлении отрицательные элементы последовательности q можно представить в экспоненциальной форме $\exp(\varphi i)$, где φ – угол, определяющий направление единичного вектора на комплексной плоскости. Эта форма удобна для последующей фазовой модуляции элементарных импульсов с единичной амплитудой при генерации зондирующих сигналов. Введение в структуру М-последовательности комплексных значений позволит найти последовательность с новыми значениями, у которой уровни БЛ НАКФ ниже, чем у традиционных.

На рисунке 1 продемонстрированы две модификации стандартной М-последовательности, при которых бинарный алфавит $[1; -1]$ заменяется в пределах исходной структуры на действительный, но несимметричный алфавит $[1; -a]$ (см. рисунок 1а), а также на комплексный несимметричный алфавит с элементами, принимающими значения $[1; -\exp(\varphi i)]$ (см. рисунок 1б).



а)



б)

Рисунок 1 – Несимметричные бинарные алфавиты:

а) действительный; б) комплексный

Цель замены отрицательных элементов с « -1 » на « $-a$ », в случае действительных чисел, и с « -1 » на « $-\exp(\varphi i)$ », в случае замены на комплексное значение, в алфавите кодовой последовательности заключается в изменении ее значений без изменения структуры таким образом, чтобы уровень БЛ НАКФ был наименьшим из возможных.

Далее рассматриваются несколько М-последовательностей длиной $N = 7, 15$ и 31 . В таблице 1 приведены порождающие полиномы [6-9] и сгенерированные по ним традиционные М-последовательности.

Т а б л и ц а 1 – М-последовательности и порождающие их полиномы

Длина	Порождающий полином	Традиционная М-последовательность
7	$x^3 + x^2 + 1$	-1 -1 1 1 1 -1 1
7	$x^3 + x + 1$	1 1 -1 -1 1 -1 1
15	$x^4 + x + 1$	1 -1 1 -1 1 1 1 1 -1 -1 -1 1 -1 -1 1
15	$x^4 + x^3 + 1$	-1 -1 1 1 1 1 1 -1 1 -1 1 1 -1 -1 1
31	$x^5 + x^3 + 1$	-1 1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 -1 -1 1 -1 1 -1 1 1 1 -1 1 1 -1 -1 -1 1 1 1 -1 1
31	$x^5 + x^4 + x^3 + x + 1$	-1 -1 1 1 1 -1 -1 -1 -1 1 1 -1 1 -1 1 -1 -1 1 -1 -1 1 1 1 1 1 1 1 -1 1 1 1

В таблице 2 приведены новые последовательности, полученные из традиционных М-последовательностей заменой алфавита на: действительный $[1; -a]$ и комплексный $[1; -\exp(\varphi i)]$.

Т а б л и ц а 2 – Новые последовательности

Последовательность	
Действительный алфавит	Комплексный алфавит
$-a -a 1 1 1 -a 1$	$-\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 1 1 -\exp(\varphi i) 1$
$1 1 -a -a 1 -a 1$	$1 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) 1$
$1 -a 1 -a 1 1 1 1 -a -a -a 1$	$1 -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) 1 1 1 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i)$

$-a -a 1$	$-\exp(\varphi i) 1$
$-a -a 1 1 1 1 -a 1 -a 1 1 -a$ $-a 1 -a$	$-\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 1 1 1 -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) 1 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i)$ $1 -\exp(\varphi i)$
$-a 1 1 -a 1 -a -a 1 -a -a -a$ $-a 1 -a 1 -a 1 1 1 -a 1 1 -a$ $-a -a 1 1 1 1 1 -a$	$-\exp(\varphi i) 1 1 -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) -$ $\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) 1 1 1 -\exp(\varphi i) 1 1 -\exp(\varphi i)$ $-\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 1 1 1 1 -\exp(\varphi i)$
$-a -a 1 1 1 -a -a -a -a 1 1$ $-a 1 -a 1 -a -a 1 -a -a -a 1$ $-a 1 1 1 1 1 -a 1 1$	$-\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 1 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 1 -$ $\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) -\exp(\varphi i) -$ $\exp(\varphi i) 1 -\exp(\varphi i) 1 1 1 1 1 -\exp(\varphi i) 1 1$

Поиск действительных значений «а» при замене отрицательных элементов в последовательностях длиной $N = 15, 31, 63, 127, 255, 511$ ранее были определены в работе [6]. В связи с этим далее следует сосредоточиться на замене отрицательных элементов на комплексные значения.

2 Поиск комплексных значений для отрицательных элементов последовательностей и оценка уровней боковых лепестков нормированной автокорреляционной функции

Дальнейшие исследования будут сосредоточены на получении последовательностей, основанных на замене отрицательных элементов в структуре традиционной М-последовательности с «-1» на комплексное значение « $-\exp(\varphi i)$ », чтобы получить аналитические выражения, описывающие характер поведения БЛ с целью поиска значений « φ » при которых максимальный уровень БЛ НАКФ будет наименьшим. Способ получения аналитических выражений для поиска новых значений элементов бинарной последовательности описан в работе [6].

На рисунке 2а и 2б представлена зависимость БЛ НАКФ от начальной фазы φ элементарных импульсов двух комплексных последовательностей одинаковой длины $N = 7$, основанных на М-последовательностях с различными порождающими полиномами (см. таблицу 1 №1 и №2). Как видно из графиков, наименьший уровень БЛ НАКФ этих двух последовательностей достигается при одинаковой начальной фазе φ , которая соответствует значениям: 41.4° и 318.6° .

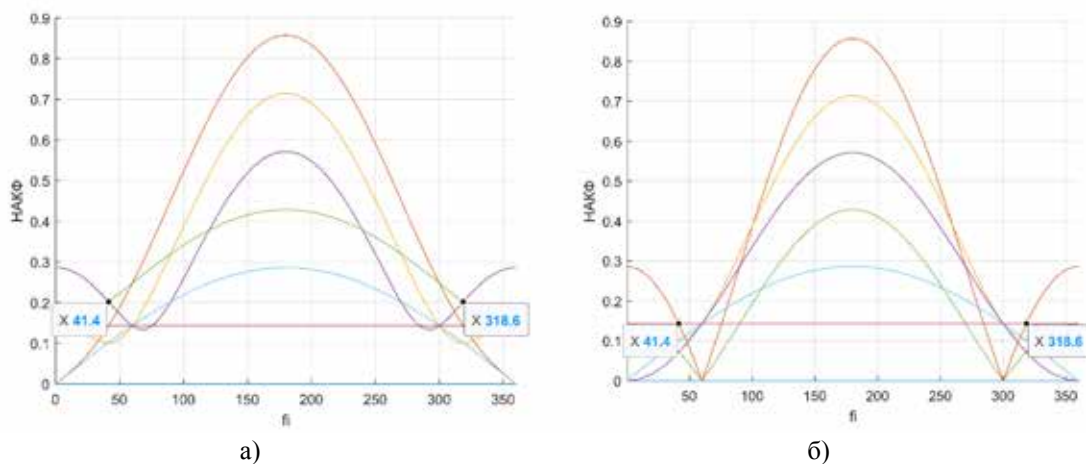


Рисунок 2 – Зависимость уровня БЛ НАКФ комплексной последовательности от параметра φ : а) последовательность №1; б) последовательность №2

На рисунке 3а и 3б показана разница уровней БЛ НАКФ последовательностей №1 и №2, где видно, что у новых комплексных последовательностей более низкие БЛ НАКФ, чем у традиционных М-последовательностей.

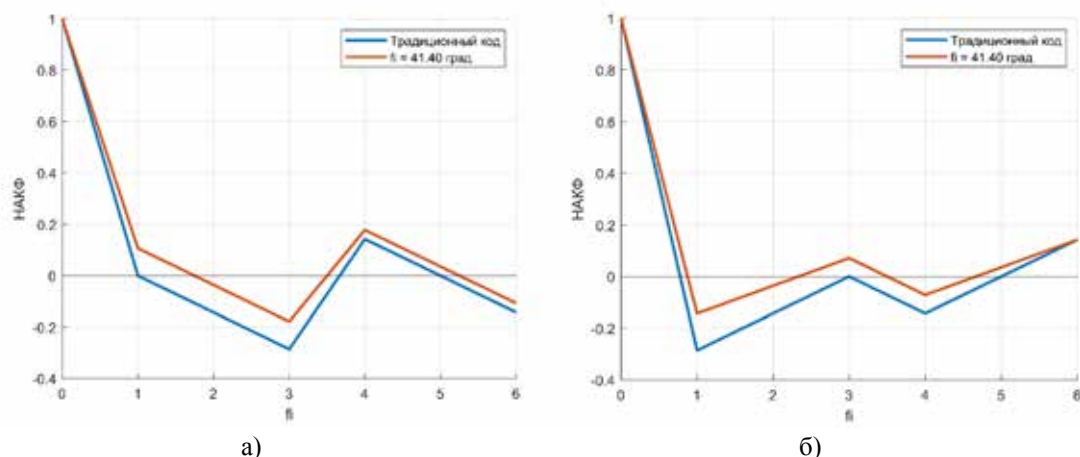
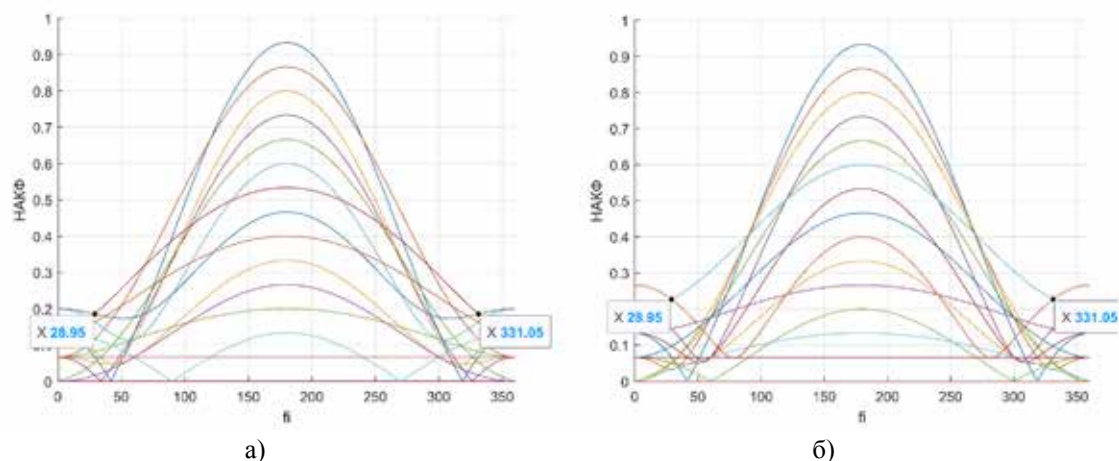


Рисунок 3 – НАКФ традиционной М-последовательности и комплексной последовательности на ее основе: а) последовательность №1; б) последовательность №2

Аналогично выше рассмотренным последовательностям длины $N = 7$, далее рассмотрены М-последовательности с длинами $N = 15$ и $N = 31$. На рисунке 4 приведена зависимость НАКФ комплексных последовательностей (№3, №4, №5 и №6 соответственно) в зависимости от параметра φ .

Как видно из приведенных выше графиков, для комплексных последовательностей с длиной $N = 15$ оптимальными начальными фазами являются $\varphi_1 = 28.95^\circ$ и $\varphi_2 = 331.05^\circ$, а для последовательностей с длиной $N = 31$ – $\varphi_1 = 19.99^\circ$, $\varphi_2 = 340.01^\circ$. На рисунке 5 видно уменьшение БЛ НАКФ комплексных последовательностей относительно традиционных М-последовательностей.

Аналогично рассмотренным выше аperiodическим НАКФ комплексных последовательностей, уровни их БЛ периодических НАКФ также становятся ниже. На рисунке 6 представлены зависимости БЛ периодических НАКФ М-последовательностей от найденных параметров φ .



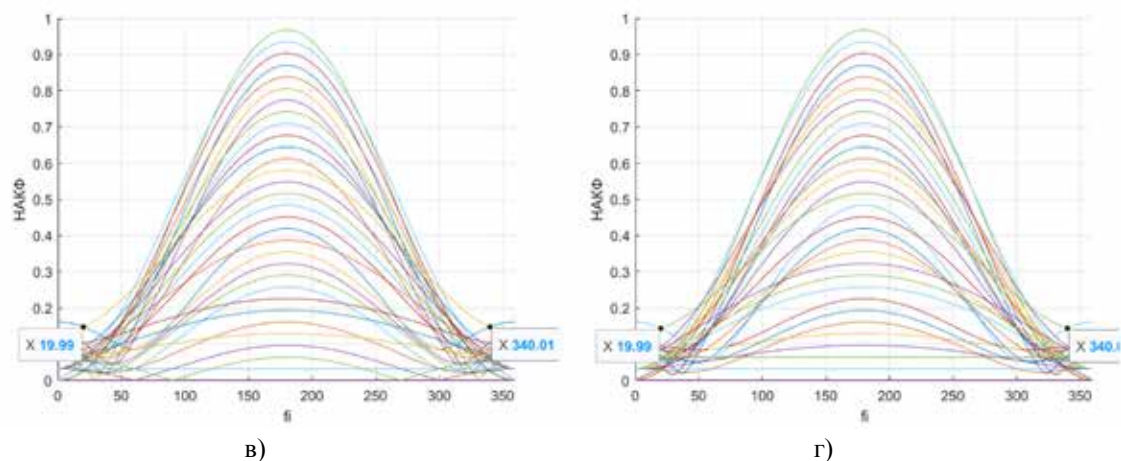


Рисунок 4 – Зависимость уровня БЛ НАКФ комплексной последовательности от параметра φ : а) последовательность №3; б) последовательность №4; в) последовательность №5; г) последовательность №6

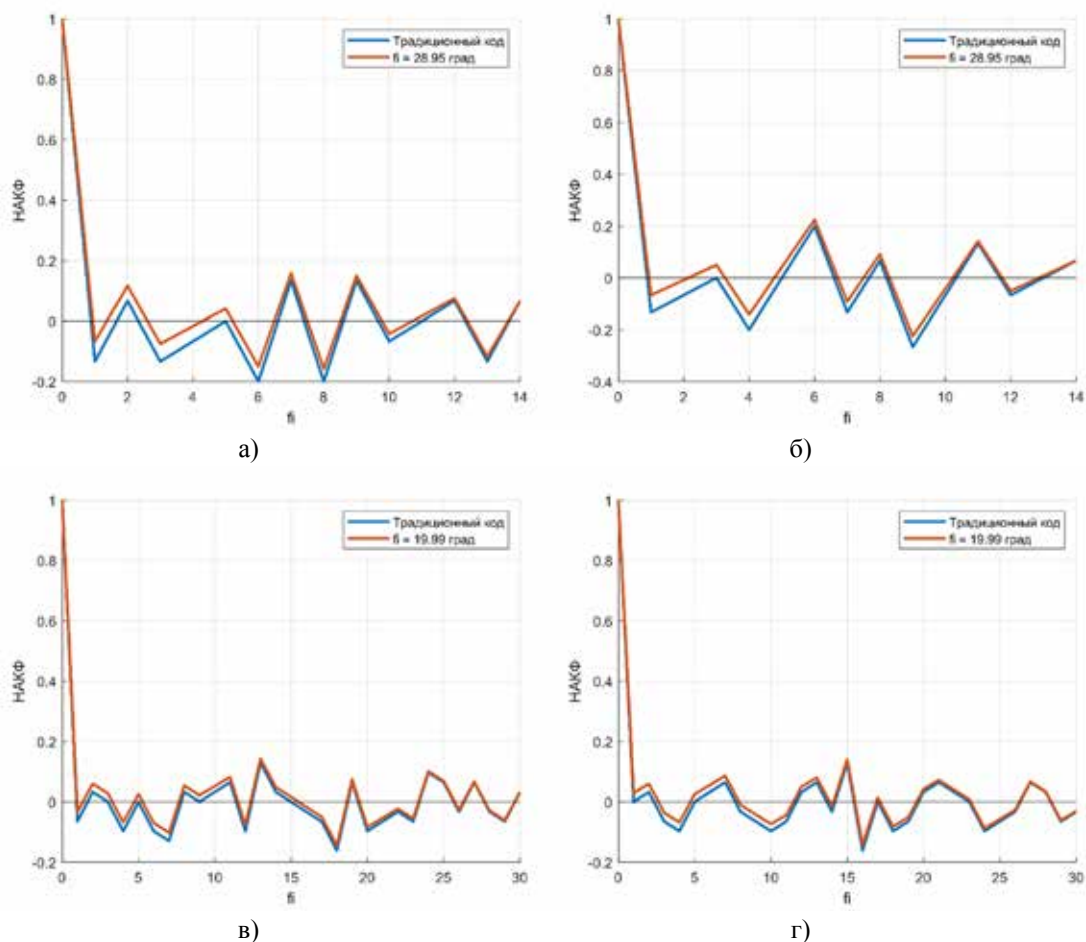
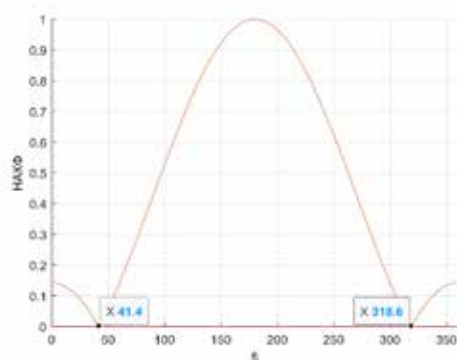
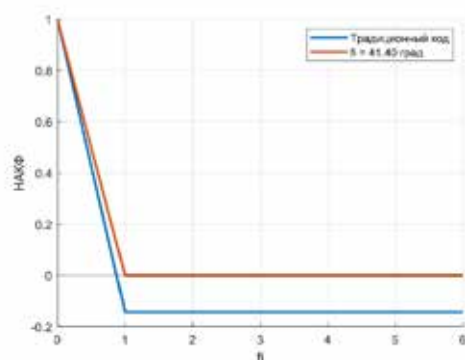


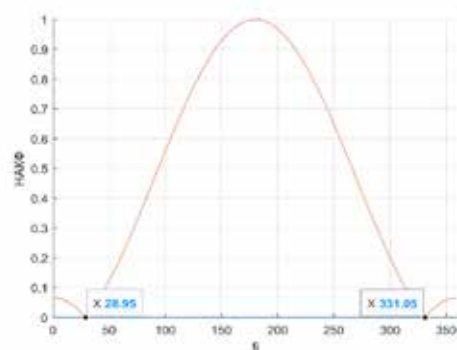
Рисунок 5 – НАКФ традиционной М-последовательности и комплексной последовательности на ее основе: а) последовательность №3; б) последовательность №4; в) последовательность №5; г) последовательность №6



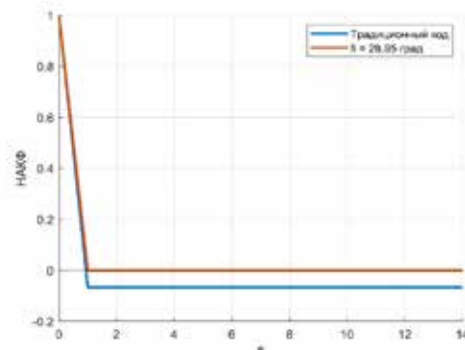
а)



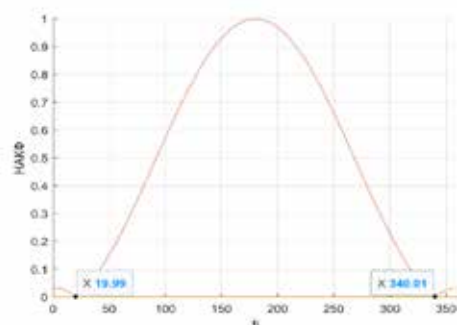
б)



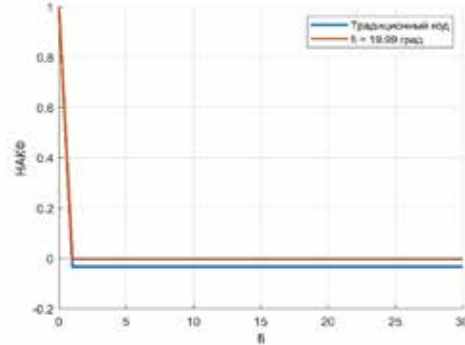
в)



г)



д)



е)

Рисунок 6 – Уровень БЛ периодической НАКФ а) Зависимость уровня БЛ периодической НАКФ комплексной последовательности длины $N = 7$ от параметра φ ; б) периодическая НАКФ традиционной М-последовательности длины $N = 7$ и комплексной последовательности на ее основе; в) Зависимость уровня БЛ периодической НАКФ комплексной последовательности длины $N = 15$ от параметра φ ; г) периодическая НАКФ традиционной М-последовательности длины $N = 15$ и комплексной последовательности на ее основе; д) Зависимость уровня БЛ периодической НАКФ комплексной последовательности длины $N = 31$ от параметра φ ; е) периодическая НАКФ традиционной М-последовательности длины $N = 31$ и комплексной последовательности на ее основе

Как видно из рисунка 6, для периодических и аperiodических НАКФ новых комплексных последовательностей одной длины оптимальные значения параметра φ одинаковы. Известно, что $\exp(\varphi_1 i) = \exp((360^\circ - \varphi_1)i)$, φ_2 можно представить как $-\varphi_1$. В

таблице 3 представлены новые комплексные последовательности с вычисленными значениями начальных фаз.

Т а б л и ц а 3 – Начальные фазы φ для комплексных последовательностей длиной $N = 7, 15$ и 31

Длина	Комплексная последовательность	Значения φ
7	$-0.7501-0.6613i \ -0.7501-0.6613i \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.7501-0.6613i \ 1$	$\pm 41.40^\circ$
	$1 \ 1 \ -0.7501-0.6613i \ -0.7501-0.6613i \ 1 \ -0.7501-0.6613i \ 1$	
15	$1 \ -0.8750-0.4840i \ 1 \ -0.8750-0.4840i \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.8750-0.4840i \ -0.8750-0.4840i \ -0.8750-0.4840i \ 1 \ 1$	$\pm 28.95^\circ$
	$-0.8750-0.4840i \ -0.8750-0.4840i \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.8750-0.4840i \ 1 \ -0.8750-0.4840i \ 1 \ 1 \ -0.8750-0.4840i$	
31	$-0.9398-0.3419i \ 1 \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.9398-0.3419i$	$\pm 19.99^\circ$
	$-0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ 1 \ 1 \ 1 \ -0.9398-0.3419i \ 1 \ 1$	

Для изучения влияния комплексной замены отрицательных элементов М-последовательностей на автокорреляционные свойства были проведены численные эксперименты. Результаты вышеприведенных экспериментов показывают, что использование несимметричного комплексного алфавита позволяет снизить уровни БЛ НАКФ по сравнению с аналогичным уровнем при использовании традиционных М-последовательностей. В частности, найденные значения параметра φ зависят от длины последовательности, а именно: чем больше N , тем меньше φ . В таблице 4 представлены значения φ для комплексных последовательностей с большей длиной, что также подтверждает этот вывод. Также в таблице 4 представлены порождающие полиномы последовательностей, на которых производилась проверка.

Т а б л и ц а 4 – Значения начальной фазы отрицательного элемента φ для комплексных последовательностей с длиной $N = 63, 127, 255, 511$

Длина N	Порождающий полином традиционной М-последовательности	Полученное значение φ
63	$x^6 + x + 1$	$\pm 14.36^\circ$
127	$x^7 + x + 1$	$\pm 9.99^\circ$
255	$x^8 + x^4 + x^3 + x^2 + 1$	$\pm 6.99^\circ$
511	$x^9 + x^4 + 1$	$\pm 4.99^\circ$

В таблице 5 приведен сравнительный анализ значений уровней БЛ НАКФ традиционных М-последовательностей и новых комплексных последовательностей, где отрицательный элемент «-1» был заменен на комплексное значение « $-\exp(i\varphi)$ ».

Т а б л и ц а 5 – Уровень БЛ НАКФ новых комплексных последовательностей

N	Максимальный уровень БЛ НАКФ последовательности		Разница между уровнями
	Традиционной М-последовательности	Новой комплексной последовательности	
7	0.2857	0.1786	0.1071
	0.2857	0.1429	0.1428
15	0.2000	0.1583	0.0417
	0.2667	0.2251	0.0416
31	0.1613	0.1437	0.0176
	0.1613	0.1418	0.0195
63	0.1429	0.1320	0.0109
127	0.1102	0.1043	0.0059
255	0.0588	0.0562	0.0026
511	0.0431	0.0419	0.0012

Анализ численных результатов таблицы 5 показывает, что поиск комплексных значений для новых последовательностей позволяет модифицировать традиционную М-последовательность, заменяя отрицательный элемент «-1» на найденное комплексное значение. Это приводит к снижению уровня БЛ НАКФ по сравнению с традиционными представлениями кода.

Например, максимальное уменьшение уровня боковых лепестков для НАКФ достигается у последовательностей длиной $N = 7$ и равно 0.1071 и 0.1428 для полиномов $x^3 + x^2 + 1$ и $x^3 + x + 1$ соответственно. Увеличение длины последовательности приводит к уменьшению уровня БЛ НАКФ до значений, близких к нулю, что улучшает обнаружение сигнала на фоне шумов [10].

3 Фазовая модуляция

В современных малогабаритных бортовых радиолокационных системах (МБРЛС) является важным улучшение разрешающей способности по дальности [11-13]. Для этого используются сложные зондирующие сигналы с широким спектром, что повышает точность и достоверность оценки дальности до объектов.

Важным также является выбор модуляции сигнала и его спектральных характеристик, что влияет на разрешающую способность по дальности при обнаружении наземных объектов.

Далее следует рассмотреть метод генерации и анализа корреляционных свойств сигналов, модулированных по фазе новыми комплексными последовательностями. Полученные ранее значения начальной фазы φ новых последовательностей позволяют сгенерировать сигналы, модулированные по фазе и обладающие более низкими уровнями БЛ [14] по сравнению с традиционными. Пример такого сигнала, модулированного последовательностью с длиной $N = 7$, показан на рисунке 7.

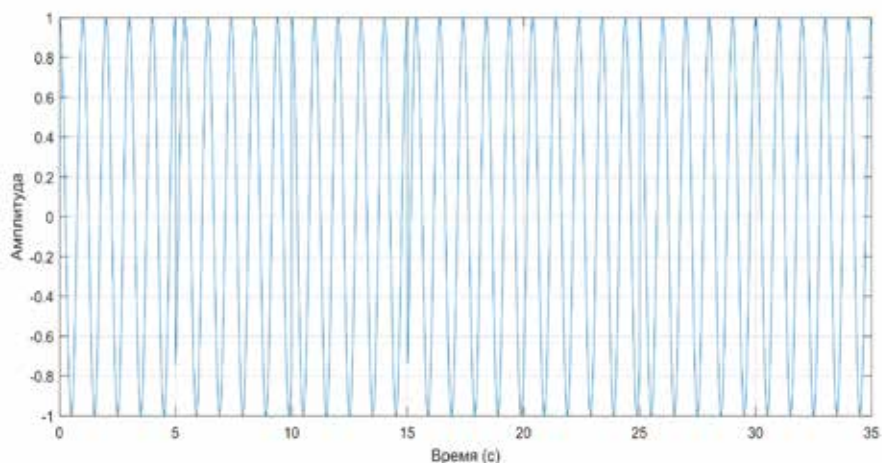


Рисунок 7 – Модулированный по фазе сигнал комплексной последовательностью

На рисунках 8-10 представлены НАКФ комплексных последовательностей и сжатых сигналов, построенных на их основе.

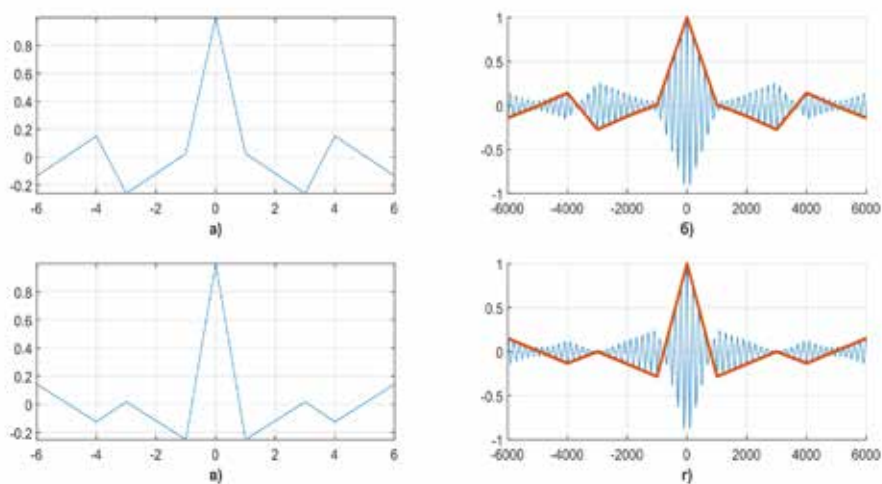


Рисунок 8 – НАКФ комплексных последовательностей и фазомодулированных сигналов длиной $N = 7$: а) последовательность №1; б) сигнал, фазомодулированный комплексной последовательностью №1; в) последовательность №2; г) сигнал, фазомодулированный комплексной последовательностью №2

Проанализировав графики, изображенные на рисунках 8-10, можно сделать вывод, что НАКФ комплексных последовательностей и сжатые сигналы соответствуют друг другу по уровню БЛ, что указывает на то, что сигналы были сформированы корректно.

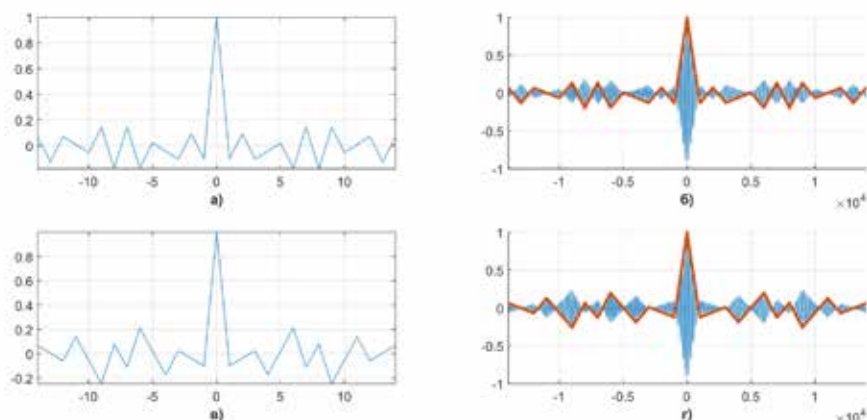


Рисунок 9 – НАКФ комплексных последовательностей и фазомодулированных сигналов длиной $N = 15$: а) последовательность №3; б) сигнал, фазомодулированный последовательностью №3; в) последовательность №4; г) сигнал, фазомодулированный последовательностью №4

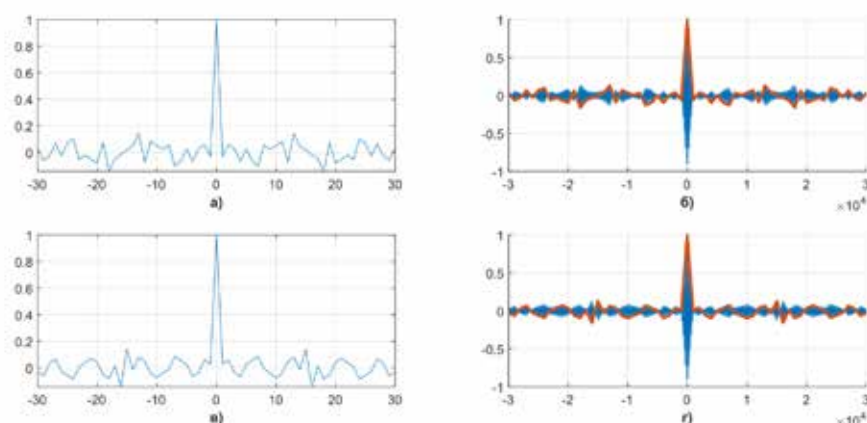


Рисунок 10 – НАКФ комплексных последовательностей и фазомодулированных сигналов длиной $N = 31$: а) последовательность №5; б) сигнал, фазомодулированный последовательностью №5; в) последовательность №6; г) сигнал, фазомодулированный последовательностью №6

4 Широтно-импульсная модуляция

Помимо фазовой модуляции сигналов, обеспечивающей понижение уровня БЛ после сжатия, внимание уделяется также широтно-импульсной модуляции (ШИМ) [15-17], применение которой, способствует уменьшению ширины главного лепестка НАКФ. Это позволяет повысить точность определения расстояния до объектов, позволяя системе более точно определять координаты по дальности физических наземных объектов (ФНО) при различных условиях контроля за ними.

Как известно, ШИМ зависит от значений скважности импульса S или от обратного ей коэффициента заполнения D [18]. Здесь будут рассматриваться изменения комплексных последовательностей в зависимости от коэффициента заполнения, ха-

рактирующего выражением

$$D = \frac{\tau}{T} = \frac{1}{S}, \quad (1)$$

где T – период импульсов,

τ – длительность импульса.

Далее будет рассмотрено несколько вариантов ШИМ-сигналов с разными коэффициентами заполнения D : 100%, 50% и 25% (1, 0.5 и 0.25 соответственно). D определяет отношение времени, в течение которого сигнал активен, к общей длительности импульса. При коэффициенте заполнения 100% сигнал активен на протяжении всего времени импульса, что обеспечивает максимальную мощность передаваемого сигнала. При снижении коэффициента заполнения до 50% и далее до 25% длина элементарного импульса уменьшается, что приводит к изменению ширины элементарного импульса сигнала. Эти изменения отображены на рисунке 11, где видно, как изменение D влияет на длительность элементарных импульсов в традиционных М-последовательностях.

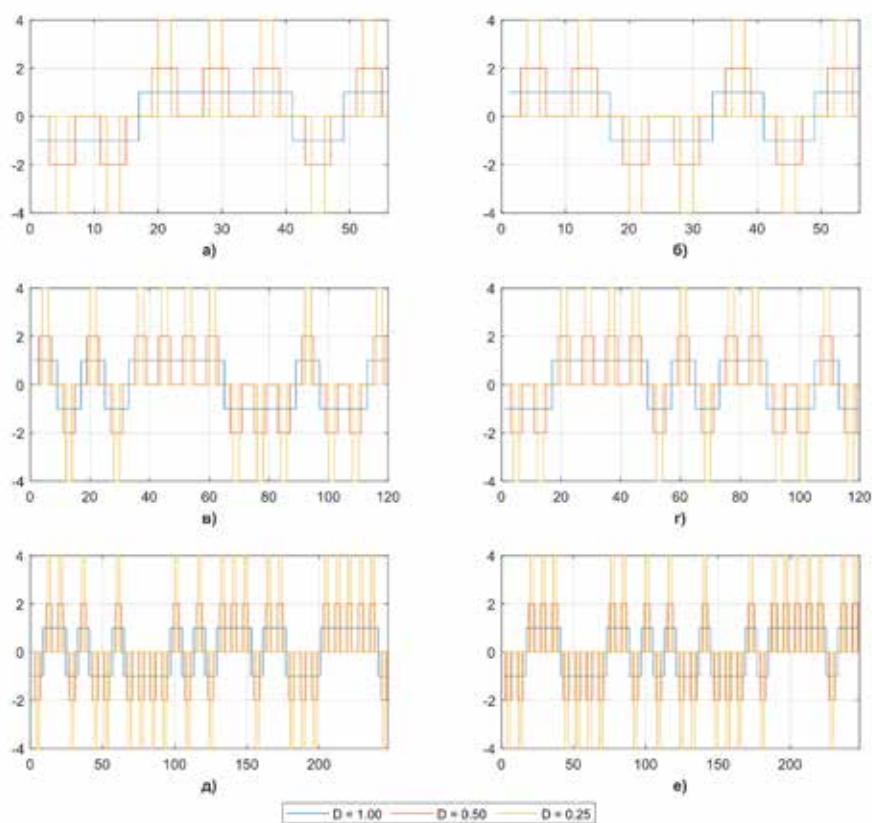


Рисунок 11 – Форма импульсных последовательностей в зависимости от D : а) М-последовательность №1; б) М-последовательность №2; в) М-последовательность №3; г) М-последовательность №4; д) М-последовательность №5; е) М-последовательность №6

Как видно из графиков, при уменьшении D длительность элементарного импульса уменьшается прямо пропорционально, что ведет к более коротким сигналам. Изменения НАКФ, вызванные изменениями D , влияют на способность системы обнаруживать ФНО в условиях наличия шума. Поэтому анализ этих последовательностей является важным шагом при разработке радиолокационных и радионавигационных систем. На рисунке 12 показаны НАКФ импульсных последовательностей, на которых видно, как именно изменение D влияет на ширину главного и боковых лепестков.

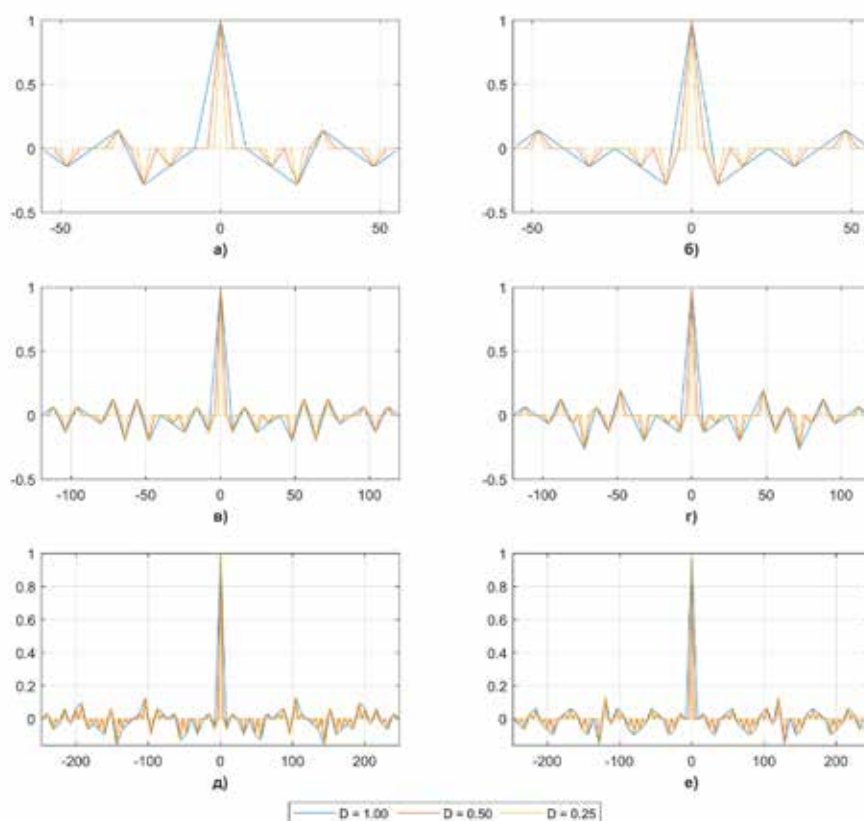


Рисунок 12 – НАКФ зависимых от D импульсных последовательностей: а) М-последовательность №1; б) М-последовательность №2; в) М-последовательность №3; г) М-последовательность №4; д) М-последовательность №5; е) М-последовательность №6

Таким образом, в ходе исследования была успешно реализована ШИМ традиционных М-последовательностей.

5 Фазовая и широтно-импульсная модуляция

При использовании ФМ-сигнала, полученного из комплексной последовательности, были получены низкие уровни БЛ НАКФ, а при использовании ШИМ-сигналов, основанных на традиционных М-последовательностях, были получены более узкие главный и боковые лепестки НАКФ. Таким образом, следует применять одновременно ШИМ и ФМ, чтобы обеспечить получение одновременно низких и узких

лепестков НАКФ для более достоверных и высокоточных измерений координат объектов.

На рисунке 13 изображены НАКФ сигналов, модулированных новыми комплексными последовательностями как по фазе, так и по ширине с амплитудой. Серой пунктирной линией отображен верхний предел, равный 0.71 (что соответствует -3дБ), на уровне которого происходит обнаружение главного лепестка НАКФ.

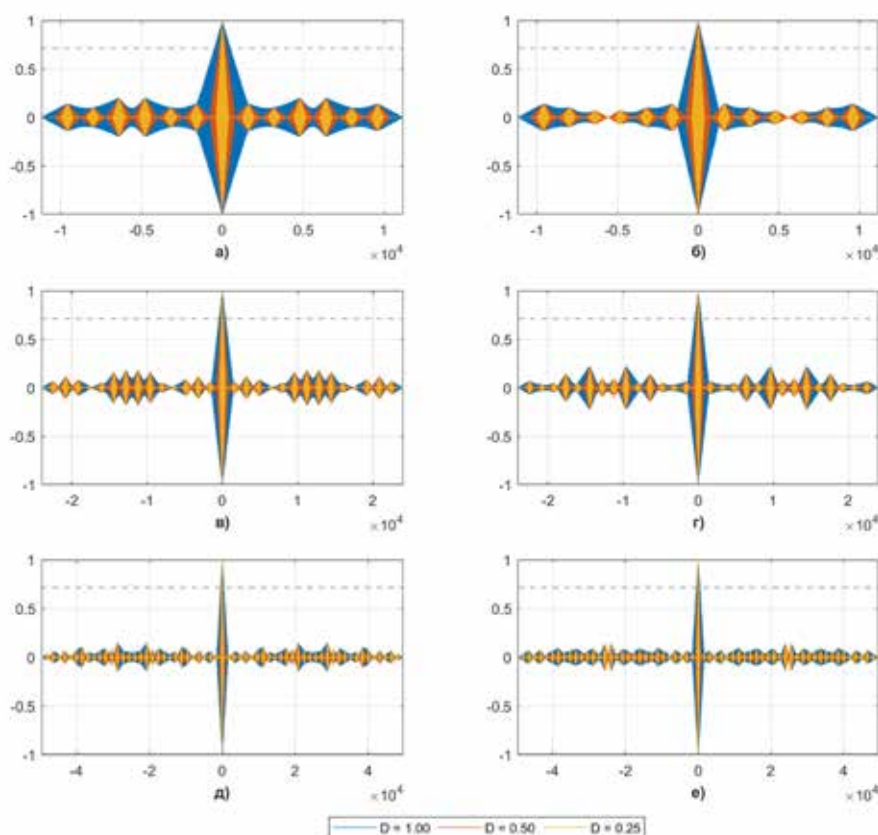


Рисунок 13 – НАКФ модулированных сигналов: а) последовательность №1; б) последовательность №2; в) последовательность №3; г) последовательность №4; д) последовательность №5; е) последовательность №6

На рисунке 14 более наглядно показаны точки пересечения верхнего предела на уровне 0.71 НАКФ комплексных последовательностей.

Компьютерное моделирование показало, что уменьшение D приводит к значительному сужению пиков НАКФ, что улучшает разрешение системы и позволяет более точно разделять сигналы во времени. На рисунках 13 и 14 видно значительное уменьшение ширины пиков НАКФ, что свидетельствует об улучшении характеристик сжатого сигнала. Так, при скважности $D = 1$ ширина главного лепестка НАКФ равна 100%, а при $D = 0.25$ – 20%. Уменьшение ширины главного пика особенно важно, так как повышает точность определения дальности до ФНО.

Более узкий главный пик АКФ способствует лучшему разделению полезных

сигналов и фонового шума, что важно в сложных радиолокационных условиях. Высокая точность обнаружения сигналов позволяет эффективнее идентифицировать и классифицировать ФНО, расширяя возможности радиолокационных технологий в таких областях, как контроль зон ЧС и мониторинг окружающей среды [19, 20].

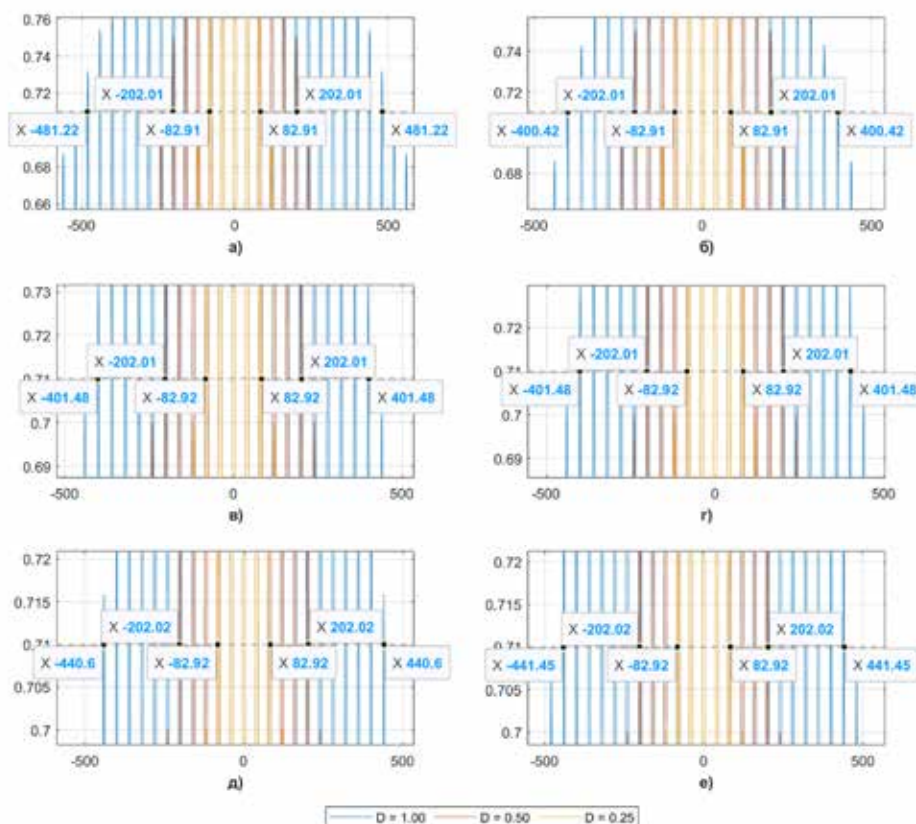


Рисунок 14 – Точки пересечения НАКФ модулированных сигналов и прямой в -3дБ : а) последовательность №1; б) последовательность №2; в) последовательность №3; г) последовательность №4; д) последовательность №5; е) последовательность №6

Заключение

В результате проведенного исследования была выполнена оценка корреляционных свойств новых комплексных последовательностей. Разработан алгоритм, основанный на замене традиционного алфавита М-последовательностей на комплексный несимметричный, что позволило значительно снизить уровень БЛ НАКФ. Исследованы фазовая и широтно-импульсная модуляции сигналов на основе комплексных последовательностей, что позволило получить сигналы с улучшенными корреляционными свойствами, включая уменьшение толщины главного лепестка и уровней БЛ НАКФ. Полученные результаты подтверждают перспективность применения новых комплексных последовательностей для повышения эффективности радиолокационных и радионавигационных систем.

Дальнейшие исследования в этой области могут быть направлены на поиск но-

вых комплексных последовательностей с одновременной заменой традиционных элементов М-последовательности, как отрицательных, так и положительных на их представление в комплексном виде.

Финансовая поддержка

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 24-79-10259).

Литература

1 Панкратов Д.Ю., Горовенко А.В. Использование пространственно-временного мультиплексирования с целью повышения защищенности информации в мобильных сетях радиосвязи // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. 2023. Т. 14, № 1. С. 49-54.

2 Когновицкий О.С., Кукунин Д.С. Применение двойственного базиса для обработки М-последовательностей над полем с двойным расширением // Электросвязь. 2023. № 10. С. 34-42.

3 Тимофеев А.Л., Султанов А.Х., Мешков И.К., Гизатулин А.Р. Радиолокация с голографическим кодированием зондирующего сигнала // Журнал радиоэлектроники. 2024. № 3

4 Ипанов Р.Н., Комаров А.А. Применение зондирующих ФКМ-сигналов с нулевой зоной автокорреляции для улучшения качества измерений в РСА // Журнал радиоэлектроники. 2024. № 1.

5 Ипатов В.П. Широкополосные системы и кодовое разделение сигналов. Принципы и положения. Москва: Техносфера, 2007. 487 с.

6 Nenashev V. A.; Nenashev, S. A. Search and Study of Marked Code Structures for a Spatially Distributed System of Small-Sized Airborne Radars. Sensors 2023, 23, 6835.

7 Межетов М.А., Васин А.Д. Особенности применения широкополосных сигналов в системах связи и навигации // Актуальные проблемы и перспективы развития гражданской авиации: материалы XIII Международной научно-практической конференции, Иркутск, 10–11 октября 2024 года. Иркутск: Московский государственный технический университет гражданской авиации, 2024. С. 169-176.

8 Патент № 2709666 С1 РФ. Псевдослучайная кодовая шкала: № 2019103609: заявл. 08.02.2019; опубл. 19.12.2019 / А.А.Ожиганов, П.А.Прибыткин.

9 Захаров И.Д., Ожиганов А.А. Использование порождающих полиномов М-последовательностей при построении псевдослучайных кодовых шкал // Приборостроение. 2011. №6.

10 Чембарисова Р.И., Ненашев В.А. Контроль аномалий в структуре кодов на основе анализа выражений лепестков автокорреляционной функции // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. 2024. Том 18. №12. С. 4-11.

11 Патент № 2703996 С2 РФ. Способ локации целей в передних зонах обзора бортовых радиолокационных станций двухпозиционной радиолокационной системы: № 2019108828: заявл. 26.03.2019; опубл. 23.10.2019 / Г.А.Коржавин, В.А.Ненашев, А.П.Шепета [и др.].

12 Махлин А.М., Ненашев В.А., Шепета А.П. Сравнительные характеристики квазиоптимальных цифровых обнаружителей сверхширокополосных сигналов // Волновая электроника и ее применения в информационных и телекоммуникационных

системах: XXI международная молодежная конференция, Санкт-Петербург, 01–05 октября 2018 года. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2018. С. 257-264.

13 Sorokin A.V., Shepeta A.P., Nenashev V.A., Wattimena G.M. Comparative characteristics of anti-collision processing of radio signal from identification tags on surface acoustic waves // *Information and Control Systems*. 2019. No. 1(98). P. 48-56.

14 Ненашев В.А., Сеницын В.А., Страхов С.А. Исследование влияния индустриальных помех на характеристики сжатия фазоманипулированных сигналов в первичных РЛС // *Инновационные технологии и технические средства специального назначения: Труды IX общероссийской научно-практической конференции. В 2 томах, Санкт-Петербург, 16-18 ноября 2016 года. Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет "Военмех", 2017. С. 351-355*

15 Ненашев В.А., Бестугин А.Р., Киршина И.А., Антохин Е.А. Формирование потока радиолокационных кадров в пространственно-распределенной системе малогабаритных бортовых РЛС // *Успехи современной радиоэлектроники*. 2024. Т. 78, № 3. С. 59-69.

16 Shepeta A.P., Nenashev V.A. Accuracy characteristics of object location in a two-position system of small onboard radars. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy [Information and Control Systems]*, 2020, no. 2, pp. 31-36.

17 Nenashev V.A., Nenashev S.A. Search and Study of Marked Code Structures for a Spatially Distributed System of Small-Sized Airborne Radars. *Sensors*. 2023; 23(15):6835.

18 Лосев Д.С. Гуляев А.В., Фокин Д.С. Стенд проверки датчиков контроля пламени // *Транспорт Азиатско-Тихоокеанского региона*. 2024. № 1(38). С. 75-80.

19 Ненашев С.А., Бестугин А.Р., Чембарисова Р.И., Киршина И.А., Ненашев В.А. Контроль толщины льда на основе применения сверхширокополосных сигнально-кодовых конструкций // *Информационно-измерительные и управляющие системы*. 2024. Т. 22. № 6. С. 13-22.

20 Ненашев В.А., Сенцов А.А. Пространственно-распределенные системы радиолокационного и оптического мониторинга. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2022. 191 с.

Ненашев Вадим Александрович – кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: компьютерное моделирование, системы навигации и радиолокации, статистический анализ, широкополосные сигналы, модуляция радиолокационных сигналов.

E-mail: nenashev.va@yandex.ru, nenashev@guap.ru

Чембарисова Рената Ильдаровна – студентка кафедры аэрокосмических компьютерных и программных систем, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения», г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: широкополосные сигналы, компьютерное моделирование, модуляция радиолокационных сигналов.

E-mail: renatachembarisova@yandex.ru

Почтовый адрес: 190000, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А.

PHASE AND PULSE-WIDTH MODULATION OF SIGNALS BY NEW COMPLEX SEQUENCES

In radar and radio navigation systems, signals modulated by the M-sequence are widely used due to their unique correlation properties. However, rather high levels of side lobes (SL) of the autocorrelation function (ACF) can negatively affect the correct operation of detection systems. Therefore, an urgent task is to search for new complex sequences with lower levels of SL of the normalized autocorrelation function (NACF), as well as the generation of signals modulated by them. The purpose of this study is to search for new complex sequences based on traditional M-sequences, for which the level of SL of the NACF is lower. This decrease in the levels of SL of the NACF is achieved by replacing the traditional symmetric alphabet consisting of positive and negative ones with an asymmetric one consisting of positive ones and a complex value in the structure of the M-sequence. In this study, it is necessary to analyze the nature of the change in the SL of the NACF and determine the complex values at which the levels of the SL of the NACF will be the lowest for new complex sequences. The study uses numerical methods for finding complex values of sequences. Computer experiments are carried out to estimate the levels of the SL of the NACF based on the obtained expressions describing the nature of the change in each SL of the NACF. In addition, phase modulation of the signal by the generated complex sequence is studied, as well as pulse-width modulation with variable amplitude and width of elementary pulses. Autocorrelation properties of the obtained signals modulated simultaneously in phase and width are analyzed. The obtained results include graphs of analytical dependencies describing the levels of the SL of the NACF, by which the search for the values of complex sequences is carried out, and changes in the width of the main lobe and SL of the NACF are analyzed depending on the duration of the elementary pulse at different duty cycles. Practical use of complex sequences and signals modulated by them confirmed the improvement of their correlation properties. Such an improvement can be used in small-sized airborne radar and radio navigation systems.

Keywords: M-sequence, complex sequence, autocorrelation function, side lobes, sequence analysis, phase modulation, pulse-width modulation, radar and radio navigation systems.

Nenashev Vadim Alexandrovich – Candidate of technical sciences, Associate Professor, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests: computer modeling, navigation and radar systems, statistical analysis, broadband signals, radar signal modulation.

Chembarisova Renata Ildarovna – student of the Department of Aerospace Computer and Software Systems, Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation.

Research interests: broadband signals, computer modeling, radar signal modulation.

УДК 621.01:623

МОДУЛЯЦИЯ ДАЛЬНОСТЬЮ И СКОРОСТЬЮ

Геворкян А.Г., Сайбель А.Г.

Выполнен анализ направлений исследований в области радиосистем координатометрического назначения. Показано, что детальный учет принятых допущений при формировании модели, выступающей основой для пространственно-временных преобразований, является важным элементом проводимых исследований. Рассмотрены варианты дистанционного взаимодействия конечных пунктов радиолинии. Показаны различия в итогах процесса передачи сигнала в подвижных системах. Показаны различия слагаемых итога процесса передачи сигнала, порождаемых непосредством протяженности радиотрассы и скорости распространения сигнала.

Ключевые слова: скорость; протяженность радиотрассы; время распространения; источник; получатель.

Введение

Современные радиосистемы обеспечивают решение широкого круга прикладных задач, при этом требования к качеству достигаемых характеристик перманентно ужесточаются, особенно для систем, применение которых предполагает антагонизм отношений с другими техническими системами, в том числе эргатическими, и природной средой.

Традиционно эволюция характеристик технических систем и процессов их применения по целевому назначению связывается с дополнительным учетом новых факторов, влиянием которых на целевое качество на предыдущих стадиях развития допустимо было пренебрегать.

Основой функционирования радиосистем с динамической структурой, результатом которых является снижение априорной неопределенности пространственного положения лоцируемых объектов, является измеримость временных параметров наблюдаемых процессов [1]. Оценки значений временных параметров выступают в качестве исходных данных для вычисления пространственно-геометрических величин, в итоге преобразуемых в оценки координат наблюдаемого объекта. Погрешности итоговых оценок координат зависят от погрешностей измерений, точности априорных данных, точности и адекватности модели, описывающей связь временных параметров с пространственными, качества реализации процесса преобразований, а также структуры и параметров технической системы, осуществляющей координатометрию.

Связь пространства (расстояния) и времени описывается простой школьной формулой $r = vt$. Такая форма записи функции связи предполагает строгое выполнение условия прямолинейности и постоянства скорости перемещения материальной точки в пространстве. Для большинства практических случаев принимается допущение, что при использовании радиодистанциометрирования скорость распространения электромагнитного излучения, выступающего в качестве материального носителя зондирующего сигнала, является константой с известным значением. Но, как и при

рассмотрении любого вопроса, глубина погружения заставляет принимать в учет множество факторов, которые приводят к необходимости признать, что строгость условия не является абсолютной. Из высшей школы инженер выносит несколько трюизмов, которые в некотором смысле противоречат друг другу:

- скорость является относительной величиной, определяемой как отношение пройденного пути к затраченному времени;

- скорость света является постоянной величиной;

- скорость света зависит от значений проницаемости среды.

Перечисленные утверждения не следуют одно из другого и в общем смысле вполне могут находиться в противоречии.

Цель статьи является рассмотрение аспектов решения координатометрической задачи, учитывающего вариативность всех величин, используемых в процессе вычислений.

1 Понятие скорости

Можно ли говорить о скорости, если путь еще не пройден? Для автомобиля используется техническая характеристика, указывающая на максимальное значение скорости перемещения относительно ровной горизонтальной поверхности под действием собственного двигателя. Средняя скорость определяется как отношение пройденного пути к затраченному на это времени. Текущая скорость, отображаемая спидометром, зависит от множества факторов, является переменной величиной и вычисляется как функция скорости вращения колес. При этом спидометр показывает скорость автомобиля, но не всех его частей. Кроме того, потенциально автомобиль может двигаться со скоростью, превышающей паспортную максимальную, и даже с космической скоростью. Т.е. термином скорость обозначаются несколько различных понятий, уточняемых определяющим прилагательным и поясняющим текстом или контекстом повествования.

Уверенно многие произносят, что скорость света является постоянной величиной. При этом достаточно сложно добиться ответа на вопрос, что это значит. Поскольку скорость является понятием относительным, то справедлив вопрос: относительно чего? Относительно свободного пространства (пустоты) достаточно сложно определить скорость – у него нет отдельных локализуемых частей; если рассуждать о скорости относительно других объектов в этом пространстве, то не ясно как доказать их неподвижность. Поэтому введено [2] понятие системы отсчета, которая называется инерциальной при условии, что не испытывает ускорения (т.е. покоится или равномерно и прямолинейно движется). В отличие от скорости, ускорение может быть измерено непосредственно, что дает возможность определить, является ли система координат инерциальной. В момент времени излучения t_0 электромагнитная волна начинает двигаться с постоянной скоростью относительно начала системы координат, совмещенной с точкой излучения, ось абсцисс которой ориентирована по вектору скорости (или по направлению) излучения. Почему нельзя сказать, что относительно точки излучения? Потому что после t_0 точка излучения, связанная с излучившим объектом, может двигаться иначе, чем до момента излучения. Следовательно, постоянство скорости относительно начала инерционной системы отсчета не влечет автоматического постоянства скорости относительно других объектов, в том числе начал

других инерциальных систем отсчета.

Движение в среде отличается от движения в свободном пространстве меньшей скоростью. Но справедлив вопрос: если путь в пространстве, заполненном средой, волна проходит за большее время, то что является причиной уменьшения скорости? Что поменялось? Движение перестало быть равномерным или прямолинейным? Т.е. возможны варианты: в среде, состоящей из молекул вещества и свободного пространства между ними, излучение движется с задержками на реакцию с частицами (например, поглощение-переизлучение) или преодолевает больший путь, двигаясь непрямолинейно (огИБая препятствия).

Сформулированные вопросы уже достаточны для подтверждения нетривиальности рассматриваемого процесса распространения излучения на трассе источник-приемник. Если же система, в которой реализуется данный процесс, не является стационарной, то число вопросов возрастает.

Рассмотрим механическую аналогию. Два объекта движутся навстречу со скоростями v_1 и v_2 до встречи (столкновения). Следует отметить, что когда мы говорим «движутся со скоростью», то позиционируем себя внешним наблюдателем, покоящимся в некоторой абсолютной системе координат, в которой и имеют смысл указанные скорости. Влияют ли на результат столкновения значения v_1 и v_2 если $v_1 + v_2 = \text{const}$?

$$v_1 t + v_2 t = d \rightarrow (v_1 + v_2) t = d.$$

Приведенные уравнения показывают, что время до встречи определяется значением суммы скоростей, т.е. скоростью сближения, и каждое слагаемое самостоятельной роли не играет. Вместе с тем, изменение скоростей приведет к тому, что доли пройденного расстояния до встречи для объектов будут различными. Т.е. при постоянстве скорости сближения, соответственно и времени встречи, изменится положение точки встречи.

Природа гармонического электромагнитного поля позволяет рассматривать изменение его параметров как функцию двух параметров: времени и расстояния от источника: форма сигнала в точке x_1 через секунду повторится в точке $x_2 = x_1 + c$. В силу чего допустимо фазовую модуляцию в точке приема обеспечить модуляцией излучаемой гармоникой или изменением протяженности радиолинии.

Оба варианта находят применение на практике: первый – в радиосвязных системах, второй – в радиолокационных и радионавигационных. При этом часто фазовые изменения, обусловленные изменением протяженности радиотрассы, характеризуют изменение частоты сигнала (доплеровский сдвиг), что обусловлено целевым применением эффекта и историческими причинами, связанными с введением эффекта в научный оборот через рассмотрение частного примера, описывающего изменение длины волны для движущегося наблюдателя.

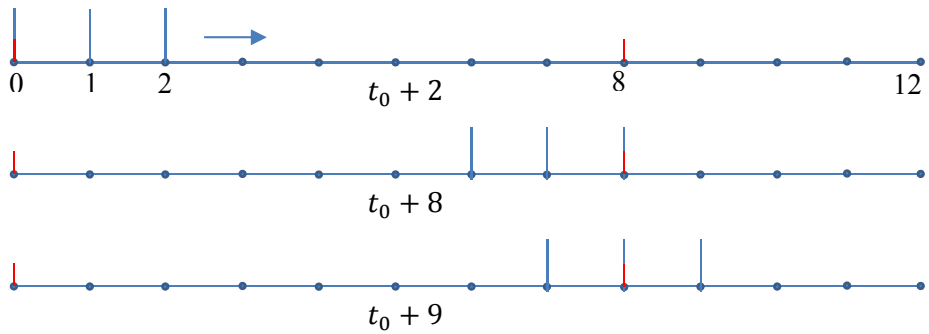
2 Модели динамических систем

Представляет интерес рассмотрение следующих сценариев:

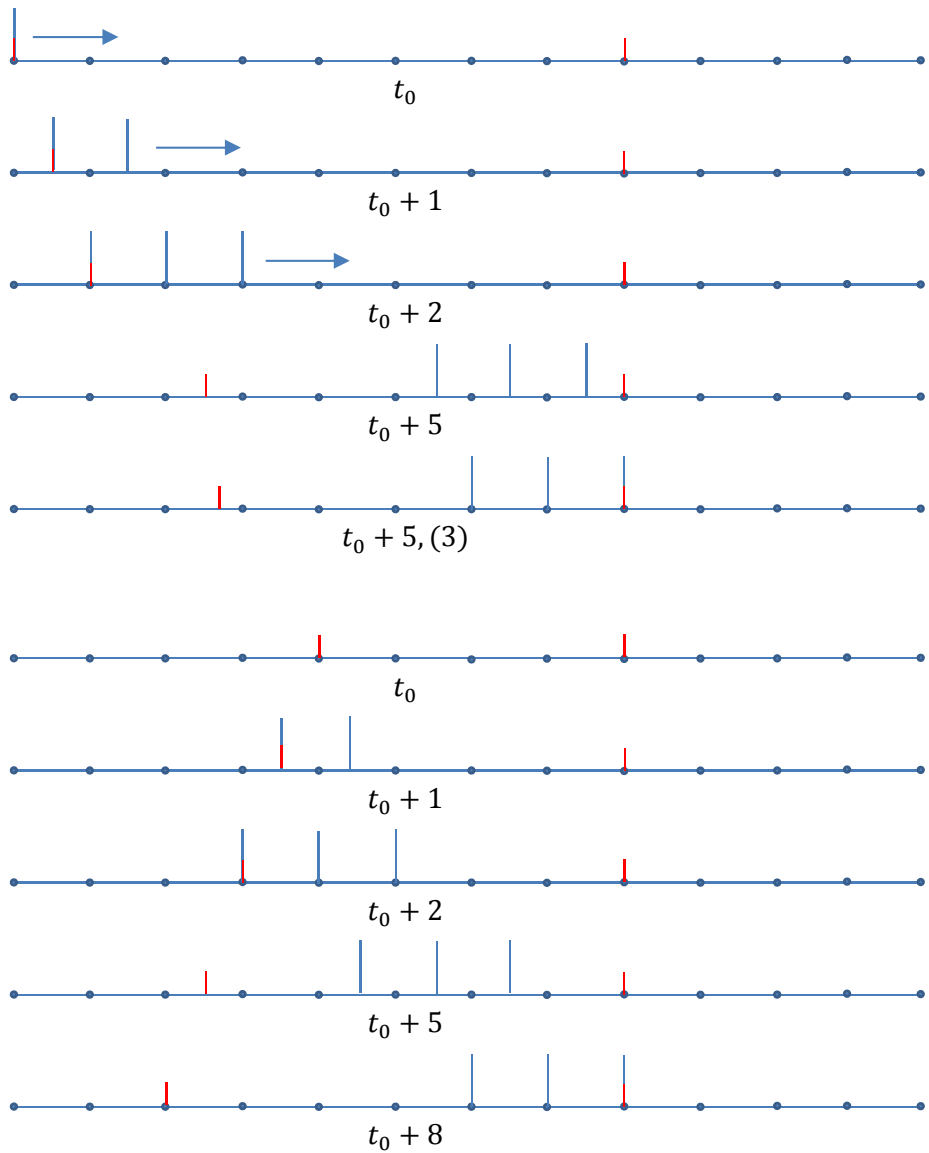
- подвижен источник,
- подвижен получатель,
- подвижны источник и получатель.

В качестве эталонной рассмотрим стационарную систему.

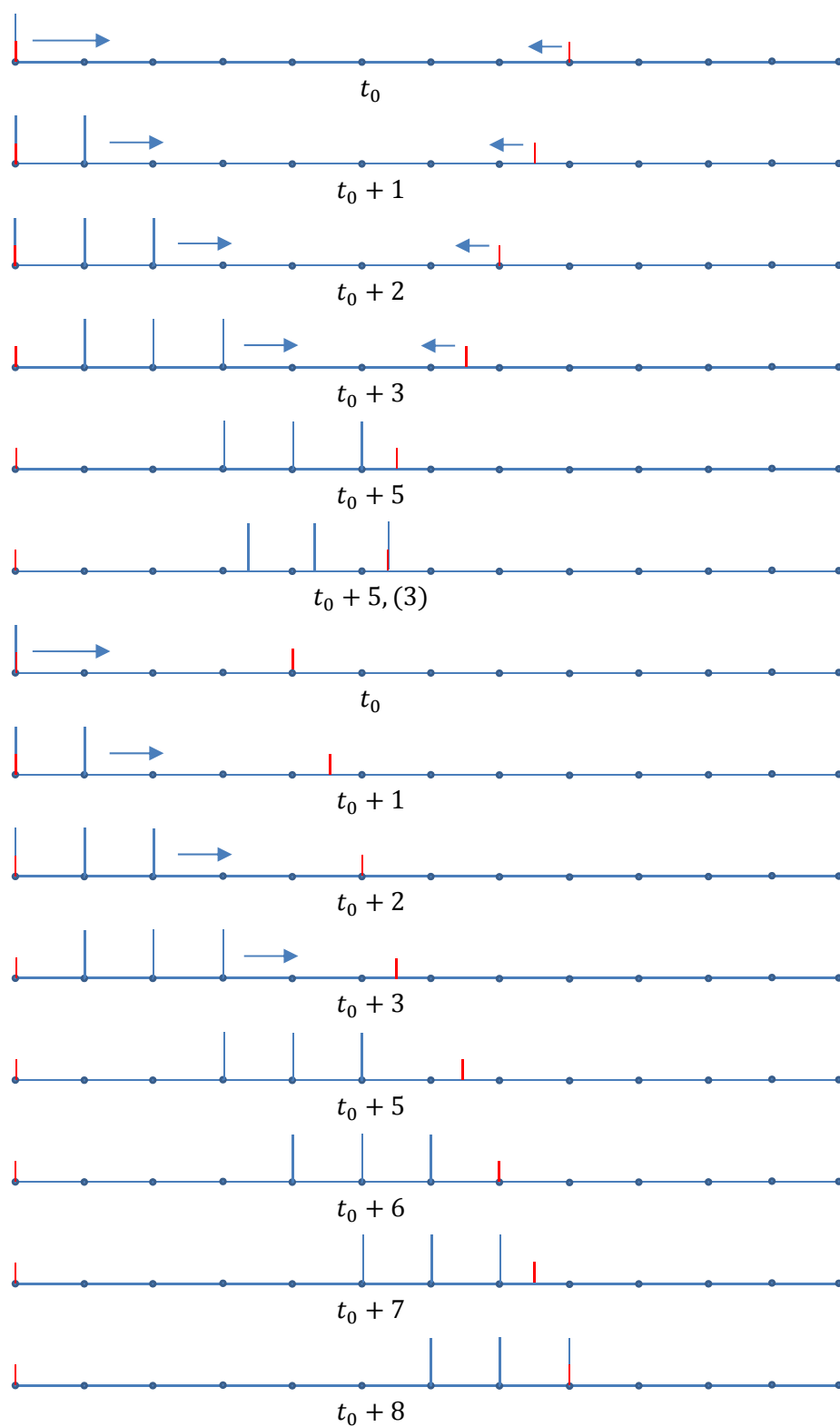
Вариант 1. Стационарная система



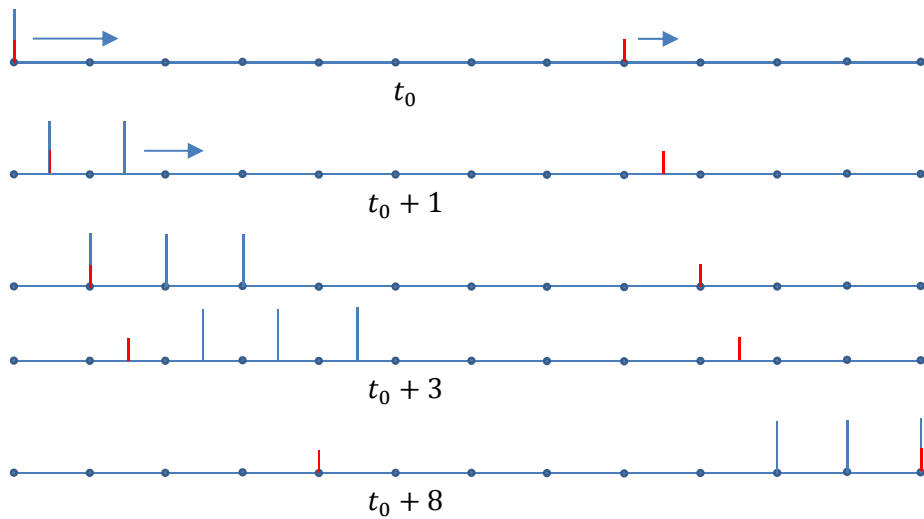
Вариант 2. Подвижен источник



Вариант 3. Подвижен получатель



Вариант 4. Подвижны источник и получатель (однонаправленно)



При рассмотрении первого варианта инерциальная система координат, связанная с источником, сохраняет положение получателя на всем протяжении эксперимента, что позволяет не рассматривать отдельно излучатель и начало системы координат. Это справедливо и для четвертого варианта.

Второй и третий варианты отличаются тем, что положение получателя в инерциальной системе отсчета является переменной величиной. Скорости сближения импульса и получателя одинаковые, но вклад движения импульса и получателя в сокращение расстояния между ними – различный. Результатом является равенство времени, затрачиваемой на преодоление пути до встречи, но точка встречи различается.

Следовательно, если дистанция связи неизменна, то скорость движения системы не имеет значения. Если дистанция изменяется, то причина такого изменения (движется источник или получатель) не влияет на время, затрачиваемое на время передачи сигнала. При этом место «встречи» может изменяться.

Рассмотрим новую ситуацию, в которой дистанция постоянна, и движутся источник и получатель. Характер движения зададим таким образом, что перемещение осуществляется линейно с постоянной скоростью, но разнонаправленно в течение одинаковых интервалов времени. Для того, чтобы исключить необходимость рассмотрения системы, испытывающей ускорение в моменты $n \cdot t_{\Pi}$ изменения направления движения, положим, что на интервалах $n \cdot t_{\Pi} \pm \tau$ излучение не осуществляется (рисунок 1).

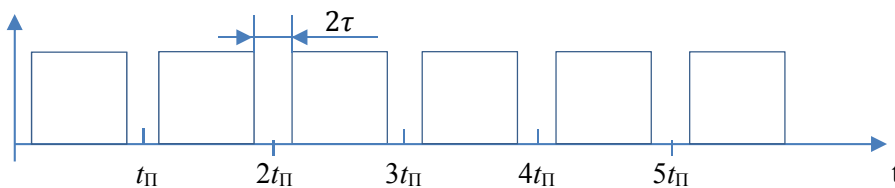
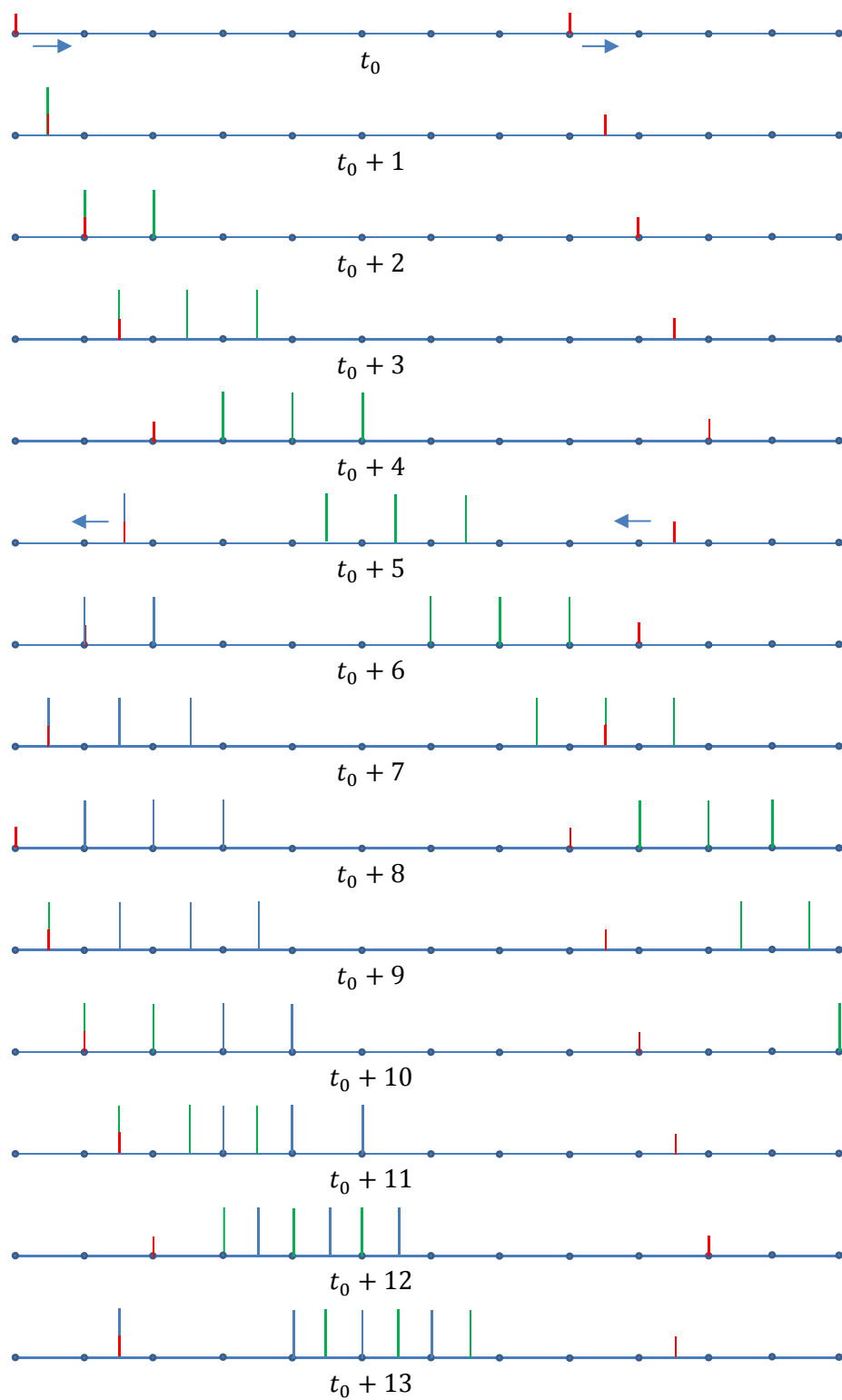
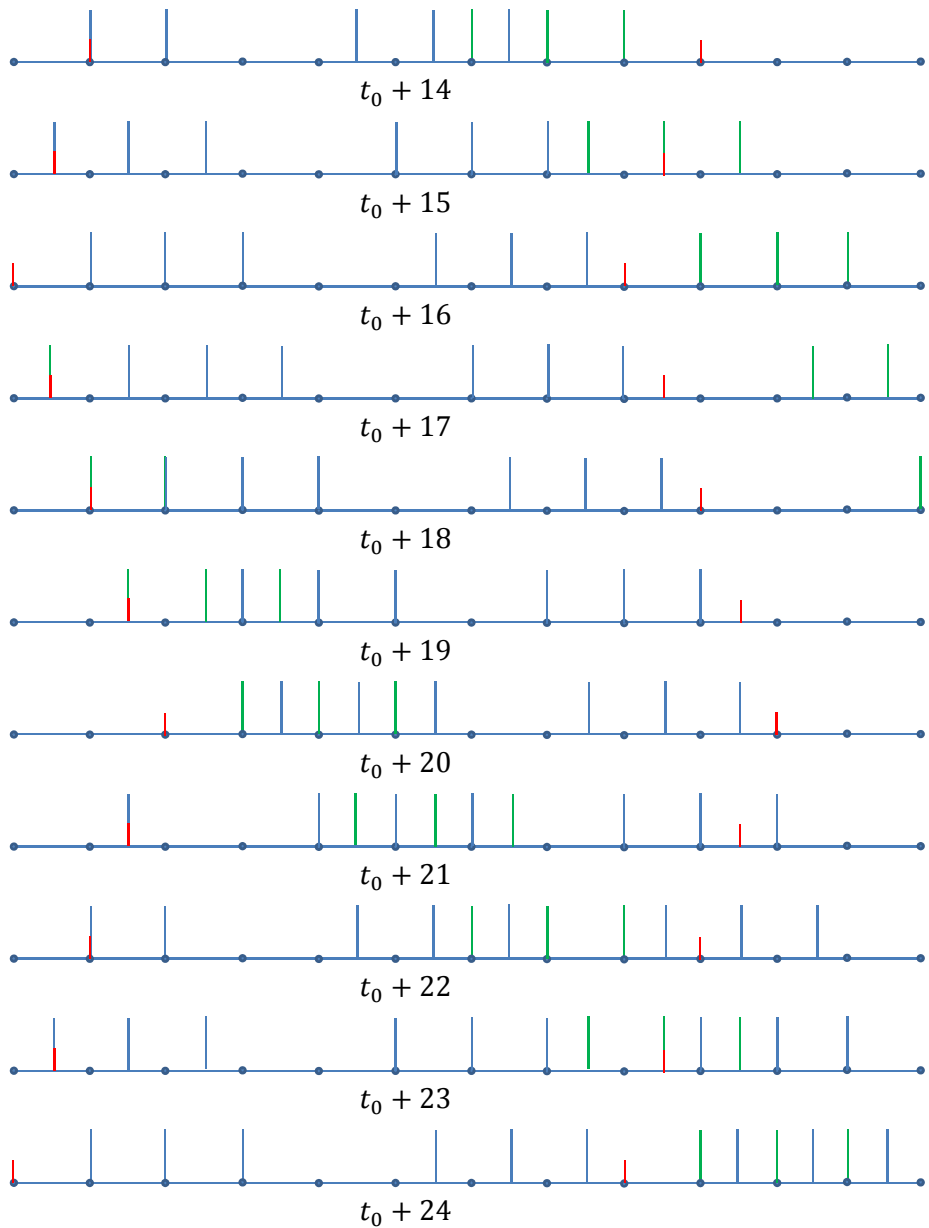


Рисунок 1 – Циклограмма излучений

Вариант 5. Подвижны источник и получатель (переменнонаправленно)





Рассматриваемый процесс параметрически зависит от расстояния излучатель-получатель и скорости перемещения. Важно отметить, что при постоянстве расстояния излучатель-получатель, из-за выбранного характера движения, радиолиния имеет переменную протяженность.

Если моменты времени приема излученных импульсов нанести на ось времени, то можно получить график (рисунок 2), наглядно показывающий, что излученные пачки импульсов при приеме имеют стабильный период следования, но различающийся для пачек, излученных на противоходе; период следования пачек не зависит от направления движения излучателя; первая пачка медленной последовательности пачек имеет задержку в приеме, значение которой пропорционально расстоянию излучатель-получатель (из чего можно сделать вывод о продолжении приема медленного потока после прекращения приема быстрого).

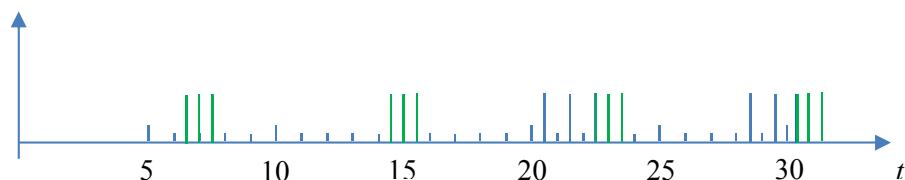


Рисунок 2 – Положение принимаемых импульсов на оси времени

Продление оси времени не изменяет характера размещения импульсов на оси, что иллюстрируется рисунком 3. Такая неочевидная закономерность дает возможность экспериментальной проверки принятой гипотезы.

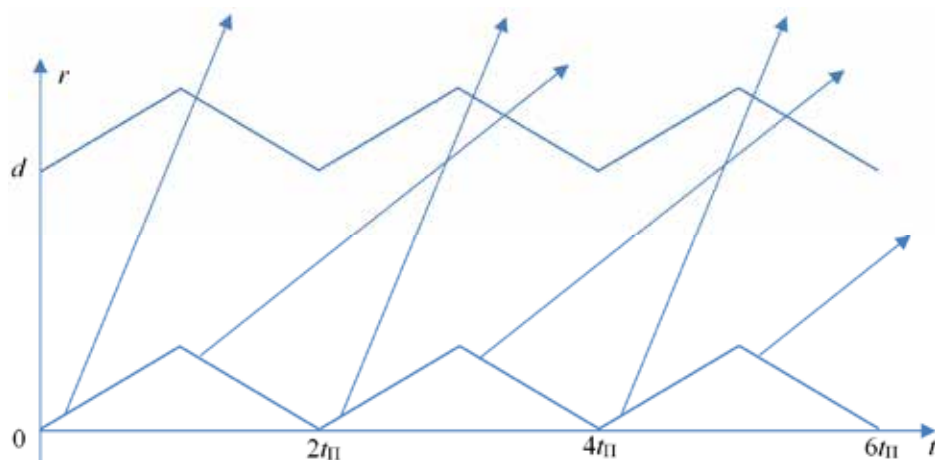


Рисунок 3 – Диаграмма исследуемого процесса

Заключение

Рассмотренные примеры позволяют утверждать, что если справедлива гипотеза о постоянстве скорости ЭМВ во всех инерциальных системах координат, то потенциально наблюдаемыми являются эффекты изменений параметров излученного сигнала при приеме вследствие наличия фазовой модуляции двух видов, которые условно можно назвать модуляцией дальностью и модуляцией скоростью.

Литература

- 1 Сайбель А.Г. Временная основа навигационной координатометрии // Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз – Антей». 2021. №7. С. 107-115.
- 2 Эйнштейн А. К электродинамике движущихся тел // Собр. науч. тр. Т. 1. М.: Наука, 1965. С.7-35.

Геворкян Арвид Грайрович – доктор технических наук, профессор, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: квантовые стандарты частоты и времени.

Email: nos.rnv@goz.ru

Сайбель Алексей Геннадиевич – доктор технических наук, доцент, профессор, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радиофизика, радиокоординатометрия, моделирование и оптимизация сложных системы, анализ временных рядов.

Email: saybel_ag@mail.ru

MODULATION BY RANGE AND SPEED

The analysis of research directions in the field of coordinate radio systems is performed. It is shown that a detailed account of the assumptions made when forming a model, which serves as a basis for space-time transformations, is an important element of the research. The variants of remote interaction of the end points of the radio link are considered. The differences in the results of the signal transmission process in mobile systems are shown. The differences in the components of the signal transmission process result, generated by the variability of the length of the radio path and the speed of signal propagation, are shown.

Keywords: speed; length of the radio path; propagation time; source; receiver.

Gevorkyan Arvid Grayrovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Scientific and Educational Center of Obukhov Plant JSC, St. Petersburg.

Research interests: quantum standards of frequency and time.

Saybel Aleksey Gennadievich - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Scientific and Educational Center, St. Petersburg.

Research interests: radiophysics, radio coordinatometry, modeling and optimization of complex systems, time series analysis.

**РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ**

№17 (25) – 2025

Подписано в печать 21.08.2025 Формат 84×108 1/16.

Бумага офсетная. Печать цифровая.

Объем 12,6 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 292-2025

АО «Обуховский завод»

191124, Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, дом 120, литера Е.

Отпечатано в ООО «Издательство «Балтийская печать».

191119, Санкт-Петербург, ул. Звенигородская, д. 9-11, лит. К, пом. 17Н, ком. 130.