



Научно-технический
журнал по вопросам
разработки и
производства
инновационной
продукции

Лицензионный договор
№ 285-1/2021 (НЭБ)

Журнал выходит
2 раза в год

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

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

E-mail: nos.rnv@goz.ru
Телефон:
8 (812) 207-56-20

РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА
ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»
№ 10 (18) – 2022

АО «РИРВ», АО «ВНИИРА»,
АО «Обуховский завод», АО «ЗРТО»

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.
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.

Редакционная коллегия:

Безлепкин Николай Иванович, д.ф.н., проф.
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.
Марченко Борис Иванович, д.т.н., проф.
Панфилов Сергей Владимирович, к.ф.-м.н.
Петухов Сергей Геннадьевич, д.т.н.
Романюк Денис Андреевич, к.ф.-м.н.
Синицын Евгений Александрович, д.т.н., проф.
Фридман Леонид Борисович, д.т.н.
Шатраков Юрий Григорьевич, д.т.н., проф.
Щеглов Дмитрий Константинович, к.т.н.

Санкт-Петербург

**РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛ-
МАЗ – АНТЕЙ» №10 (18) – 2022: ТРУДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНАЛЬНО-
ГО ЦЕНТРА КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ». – СПб.: Балтийская печать,
2022. – 144 с. – ил.**

Научно-технический журнал **РАДИОНАВИГАЦИЯ И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»** публикует результаты научных исследований, разработки 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.



Уважаемый читатель!

Текущий номер № 10 (18) журнала, как и предыдущие выпуски, носит междисциплинарный характер и содержит материалы по нескольким различным научно-практическим направлениям.

В предыдущем выпуске нашего журнала мы информировали читателей о проведении Российским институтом радионавигации и времени Первой конференции «Радионавигация и время» по тематическому направлению «Система единого времени РФ» (30 июня – 1 июля 2022 г.). Знаковым выступлением на конференции явился доклад заместителя генерального конструктора АО «РИРВ» А.А.Скобелина, основное содержание которого представлено ниже в программной статье «Система единого времени Российской Федерации – преодоление новых вызовов» (*авторы дтн проф. Блинов И.Ю., Бандура А.С., Батура А.С., ктн Белов Л.Я., ктн Дружин В.Е., ктн Крупская А.В., Скобелин А.А., Тюляков А.Е.*).

Статья *ктн Вексельмана М.И.* (ФГАНУ ЦИТИС) «Безопасность систем синхронизации на основе ГНСС. Мониторинг качества навигационных систем» представляет интерес для исследователей и разработчиков в области методов защиты навигационной аппаратуры потребителя глобальных навигационных спутниковых систем от внешних программно-аппаратных воздействий (подавление или подмена) спутникового навигационного сигнала. Сделан вывод о возможности обнаружения и блокирования атаки в течение 3-4 секунд.

Материал *ктн Воробьева А.С. и ктн Сторожука Н.Л.* (АО НПП «КОМЕТЕХ», Санкт-Петербург) «Тенденции развития оборудования сетевой синхронизации» содержит практические технические решения по применению квантовых стандартов частоты в качестве вторичных задающих генераторов для создания единой тактовой синхронизации систем высокоскоростной связи, реализующих синхронизацию оборудования сети в целом.

Статья *Кургузикова Р.О., ктн Курчанова И.А., Орлова Ф.Л. и Гусейнова Т.З.* «О внедрении аддитивных технологий для обеспечения импортонезависимости в расходных материалах при изготовлении фиксаторов вибродатчиков для проведения механических испытаний разрабатываемых изделий» представляет собой любопытный материал исследования возможности создания с требуемыми характеристиками «копеечных» изделий – фиксаторов вибродатчиков. Для того чтобы подобрать пригодные материал и технологию их изготовления на недорогом аддитивном оборудовании авторам пришлось провести целую серию экспериментов и аналитических действий по обеспечению требуемой достоверности результатов испытаний.

В разделе «Журнал в журнале: статьи аспирантов» тематике возможности применения радиопоглощающих материалов и покрытий посвящены две статьи:

- *Лысенко А.Е. и Лебедева В.А.* (АО «РИРВ») под руководством ктн Курчанова И.А. представляют аналитический обзор на тему «Современное состояние и перспективы разработки радиопоглощающих материалов», в котором также представлены результаты экспериментов по влиянию на электромагнитную совместимость трех конкретных образцов краски как радиопоглощающего покрытия;

- *Хянин Д.С.* (АО «ЗРТО») в материале «Патентно-информационный ландшафт тематики радиопоглощающих покрытий» представил обзор публикационной активности и основных направлений развития радиопоглощающих материалов и покрытий по результатам патентного поиска и выборочного анализа коммерческих предложений в соответствующей предметной области.

Итоговые результаты своих диссертационных исследований, достаточно полно изложенных в семнадцати научных публикациях, в научно-популярной форме излагает *Васильева И.Е.* (АО «ГОЗ») в статье «Освещение – это просто!», стилистически возвращая читателя в эпоху второй половины века ушедшего, переключаясь с серий книг Айсберга Е.Д. «Радио (варианты: «транзистор», «телевидение», «цветное телевидение» и др. – прим.ред.)? Это очень просто!».

Аспирант *Галеев Э.Е.* (АО «ГОЗ») публикует свой взгляд на общее и различное в свойствах интегрированных корпоративных структур. Выделив 15 основных признаков у 13 типов интегрированных структур, автор смог построить их цифровые портреты в виде лепестковых диаграмм, наглядно представив степень сходства и расхождения свойств.

Слушатель *Добряк Ю.С.* и его научный руководитель *ктн доц Жеребцов Н.В.* (Михайловская военная артиллерийская академия, Санкт-Петербург) в статье «Анализ современных примеров применения геомагнитных систем в навигации при использовании летательных аппаратов» приступили к рассмотрению возможности использования геомагнитных средств навигации на борту малых летательных аппаратов как способа резервирования/дублирования традиционной радиотехнической навигационной аппаратуры потребителя ГНСС. Приводятся и обобщаются результаты отдельных научных публикаций и информационных сообщений на эту тему. Рассматриваются и обобщаются примеры экспериментального применения магнитометрического оборудования и систем магнитной картографии как дублирующей системы коррекции траектории полета летательного аппарата.

В завершающей части журнала в помощь аспирантам *дтн доц Сайбель А.Г., дтн проф Марченко Б.И. и квн доц Волгин В.А.* (АО «ГОЗ») предлагают их вниманию

«Методические рекомендации аспирантам», в которых приводятся и комментируются актуальные изменения в законодательстве в части подготовки квалифицированных ученых, особо применительно к научным специальностям аспирантуры СЗРЦ, а также погружают читателя в суть понятийного и терминологического аппарата научных исследований.

Электронные версии текущего и предыдущих выпусков журнала доступны на сайте организации (nos.goz.ru/magazine).

Доктор военных наук, профессор
С.В. Баушев

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| <i>Блинов И.Ю., Бандура А.С., Батура А.С., Белов Л.Я., Дружин В.Е., Крупская А.В., Скобелин А.А., Тюляков А.Е.</i> Система единого времени российской федерации – преодоление новых вызовов..... | 8 |
| <i>Вексельман М.И.</i> Безопасность систем синхронизации на основе ГНСС. Мониторинг качества навигационных систем..... | 21 |
| <i>Воробьев А.С., Сторожук Н.Л.</i> Тенденции развития оборудования сетевой синхронизации | 29 |
| <i>Кургузииков Р.О., Курчанов И.А., Орлов Ф.Л., Гусейнов Т.З.</i> О внедрении аддитивных технологий для обеспечения импортнезависимости в расходных материалах при изготовлении фиксаторов вибродатчиков для проведения механических испытаний разрабатываемых изделий | 35 |
| Журнал в журнале. Статьи аспирантов и соискателей | |
| <i>Курчанов И.А., Лысенко А.Е., Лебедев В.А.</i> Современное состояние и перспективы разработки радиопоглощающих материалов..... | 57 |
| <i>Хянин Д.С.</i> Патентно-информационный ландшафт тематики радиопоглощающих покрытий | 73 |
| <i>Васильева И.Е.</i> Освещение – это просто!? | 85 |
| <i>Галеев Э.Е.</i> Цифровые портреты интегрированных корпоративных структур | 98 |
| <i>Жеребцов Н.В., Добряк Ю.С.</i> Анализ современных примеров применения геомагнитных систем в навигации при использовании летательных аппаратов..... | 117 |
| В помощь аспирантам и соискателям | |
| <i>Волгин В.А., Марченко Б.И., Сайбель А.Г.</i> Методические рекомендации аспирантам | 123 |

УДК 621.396.9

СИСТЕМА ЕДИНОГО ВРЕМЕНИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ – ПРЕОДОЛЕНИЕ НОВЫХ ВЫЗОВОВ

Блинов И.Ю., Бандура А.С., Батура А.С., Белов Л.Я., Дружин В.Е., Крупская А.В., Скобелин А.А., Тюляков А.Е.

Рассмотрен новый подход к частотно-временному обеспечению широкого круга потребителей во все периоды военно-политической обстановки. Предложены состав, функциональная схема и номенклатура тактико-технических требований к Системе единого времени Российской Федерации, планируемой к созданию на базе Государственной системы единого времени и эталонных частот «Цель». Приведен перечень мероприятий по созданию Системы единого времени Российской Федерации.

Ключевые слова: система единого времени; система «Цель»; частотно-временная информация; шкала времени.

Введение

Современные изменения военно-политической обстановки (ВПО) и тенденции развития широкого круга систем и средств, находящихся в ведомственной принадлежности Министерства обороны Российской Федерации (МО РФ), средств критической гражданской инфраструктуры, а также средств двойного назначения определяют необходимость высокоточного гарантированного частотно-временного обеспечения (ЧВО) указанных систем и средств.

Потребители частотно-временной информации (ЧВИ) МО РФ используют в качестве средства ЧВО Государственную систему единого времени и эталонных частот (ГСЕВЭЧ) «Цель», предназначенную для передачи от Государственного первичного эталона единиц времени, частоты и национальной шкалы времени потребителям в сфере обороны и безопасности, экономики и науки страны эталонных сигналов частоты и времени и информации о параметрах вращения Земли. На рисунке 1 приведены объекты и средства ГСЕВЭЧ «Цель».

Основным средством передачи ЧВИ ГСЕВЭЧ «Цель» является система ГЛОНАСС. При этом большинство гражданских потребителей, включая элементы критической инфраструктуры, получают ЧВИ преимущественно от глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС) GPS, что в особый период ВПО может привести к катастрофическим последствиям (нарушения в движении транспорта, сотовой связи, аварии в электросетях и другие).

Изменившаяся военно-политическая обстановка, изменение моделей угроз безопасности, совершенствование средств и методов радиоэлектронного противодействия и, в связи с этим, возможное подавление или искажение сигналов системы ГЛОНАСС, разработка в США и ряде стран НАТО новых видов оружия, в том числе, гиперзвукового, требуют пересмотра существующего подхода к ЧВО разнообразных потребителей с учетом предъявляемых ими специфических требований.

Таким образом, в связи с появлением новых (дополнительных) требований к ГСЕВЭЧ «Цель» и расширением круга потребителей частотно-временной информации, для обеспечения потребителей МО РФ, специальных потребителей и потребителей в критичных областях экономики (в частности, в системах управления транспортом, телекоммуникационных системах, энергетическом комплексе, банковской сфере и других) единой шкалой времени в различные периоды ВПО возникает необходимость в создании новой системы частотно-временного обеспечения – Системы единого времени Российской Федерации (СЕВ РФ).

1 Новизна предлагаемого подхода

Новизна предлагаемого подхода к частотно-временному обеспечению заключается в централизованном (системном) обеспечении всех потребителей ЧВИ (как военных, так и гражданских) во все периоды ВПО, в том числе, при отсутствии сигналов ГНСС и в условиях влияния дестабилизирующих факторов, путем повышения помехоустойчивости, внедрения новых технологий, организации резервных каналов доставки ЧВИ, организации контроля доставки ЧВИ и обеспечиваемых точностных характеристик (ТХ), принятия мер по кибербезопасности. Реализация подхода базируется на создании новой системы на базе существующей ГСЕВЭЧ «Цель» за счет введения новых элементов системы, создания новых функциональных связей и их резервирования.

Необходимо отметить, что если в Минобороны России обеспечение потребителей аппаратурой СЕВ жестко регламентируется существующей нормативно-правовой базой, то в гражданской сфере частотно-временное обеспечение осуществляется потребителями самостоятельно и бессистемно, во многих случаях – несертифицированными приборами, чаще всего иностранного производства. Кроме того, государственная поверочная схема предполагает использование в качестве каналов доведения ЧВИ до широкого круга потребителей (средств измерений) каналы средств ГНСС фактически без альтернативы и контроля доставки ЧВИ. Соответственно, даже при использовании сертифицированной аппаратуры СЕВ при существующей организации гражданской сферы бесперебойная доставка ЧВИ до потребителя не может быть гарантирована. В связи с этим предлагается на законодательном уровне установить требования к применению сертифицированной аппаратуры СЕВ и задать требования по контролю и мониторингу характеристик передаваемой ЧВИ.

Создаваемая СЕВ РФ способна обеспечить, в том числе, высокоточную взаимную синхронизацию средств глобальных и региональных навигационных систем, что является важным условием возможности их совместной работы, и, таким образом, может являться технологической базой для создания многоуровневой устойчивой системы координатно-временного и навигационного обеспечения РФ.

2 Состав и функциональная схема СЕВ РФ

В состав СЕВ РФ предлагается включить следующие составляющие:

- подсистема средств формирования шкал времени (ШВ) и эталонных частот;
- подсистема контроля и управления;
- подсистема средств передачи частотно-временной информации;
- подсистема потребителей;

- фундаментальный сегмент;
- функциональные дополнения.

Функциональная схема СЕВ РФ приведена на рисунке 2. Взаимодействие элементов СЕВ РФ представлено на рисунке 3.

В состав подсистемы средств формирования ШВ и эталонных частот СЕВ РФ функционально необходимо включить:

- Государственный первичный эталон единиц времени, частоты и национальной шкалы времени ГЭТ 1-2018 (ГЭВЧ);
- государственные вторичные и рабочие эталоны единиц времени и частоты Росстандарта (ВЭТ 1-5, ВЭТ 1-7, ВЭТ 1-19, РЭТ 1-1);
- военные эталоны единиц времени и частоты (ВЭ-31, ВЭ-33);
- рабочие эталоны единиц времени и частоты центральных синхронизаторов (ЦС) ГЛОНАСС;
- вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ1-13, расположенный в АО «РИРВ».

Опорной ШВ СЕВ РФ является национальная шкала времени Российской Федерации, формируемая ГЭВЧ (первичным эталоном). В особый период ВПО обстановки функции формирования и хранения опорной ШВ выполняет военный эталон единиц времени и частоты ВЭ-33, расположенный в автоматизированном центре управления системой (АЦУС) «Цель». Дополнительными (резервными) средствами формирования ШВ и эталонных частот являются вторичные эталоны Росстандарта, контрольных пунктов и ЦС системы ГЛОНАСС, вторичный эталон единиц времени и частоты ВЭТ1-13.

Для формирования поправок национальной шкалы координированного времени России UTC(SU) к шкале всемирного времени UT1 функционально включён *фундаментальный сегмент* в составе: РСДБ-сети, квантово-оптические системы, средства формирования параметров вращения Земли.

В состав подсистемы средств передачи ЧВИ входят:

- средства передачи эталонных сигналов времени на базе ГНСС ГЛОНАСС;
- передающие станции длинноволнового (ДВ) диапазона импульсно-фазовых радионавигационных систем (ИФРНС) и сверхдлинноволновые (СДВ) станции связи ВМФ из состава ГСЕВЭЧ «Цель»;
- передающие специализированные ДВ и коротковолновые (КВ) станции Государственной службы времени, частоты и определения параметров вращения Земли (ГСВЧ): РБУ, РТЗ, РВМ;
- средства передачи информации о точном значении московского времени и календарной дате через глобальную сеть Интернет (NTP-серверы);
- перевозимые квантовые часы (ПКЧ);
- средства передачи ЧВИ по беспроводным сетям;
- средства передачи ЧВИ по сетям связи;
- средства синхронизации по метеорной радиосвязи;
- средства синхронизации по сигналам ИФРНС в дифференциальном режиме;
- космические аппараты (КА) на геостационарных (ГСО) и высокоэллиптических орбитах (ВЭО);
- средства высокоточной относительной синхронизации территориально

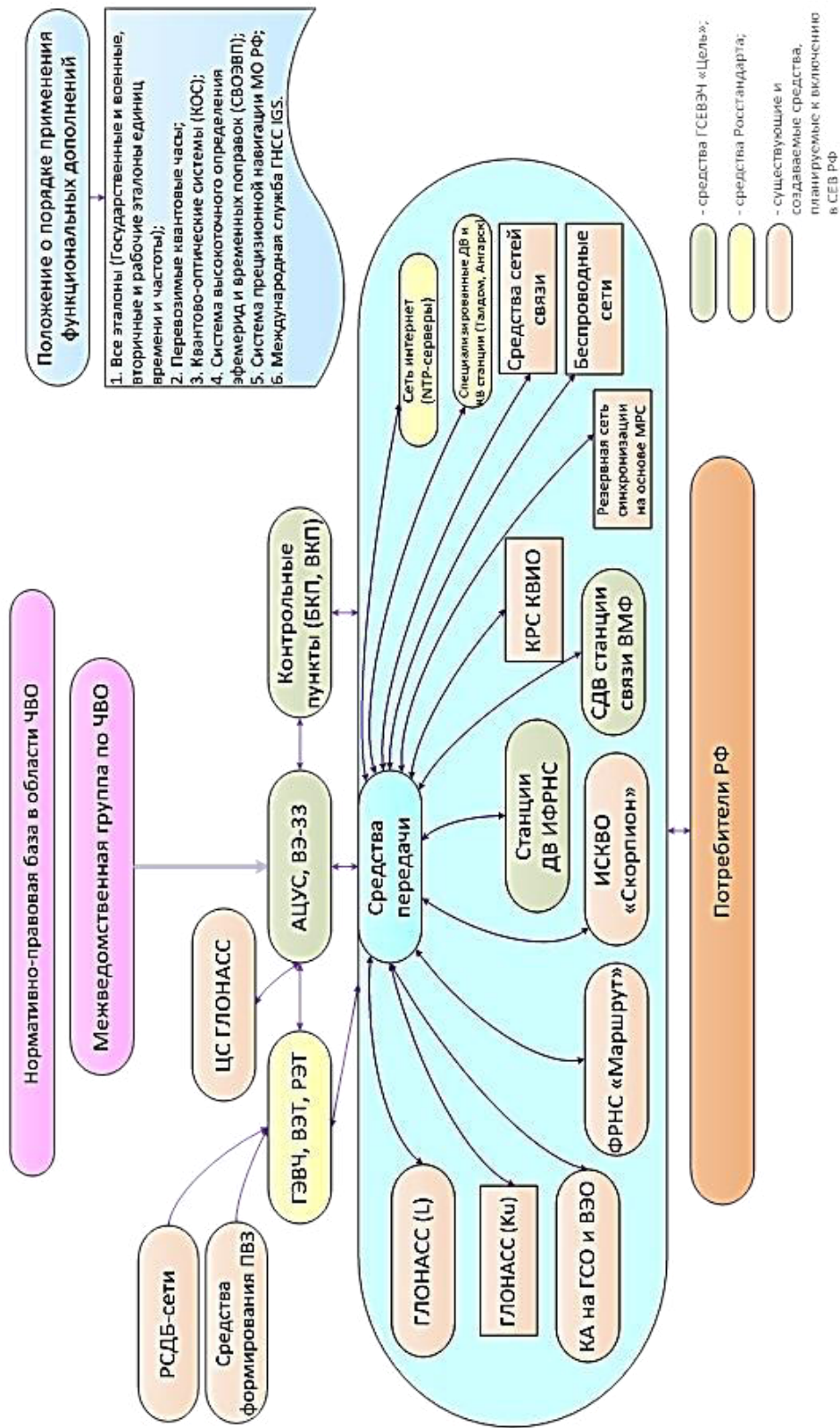


Рисунок 2 – Функциональная схема СЕВ РФ

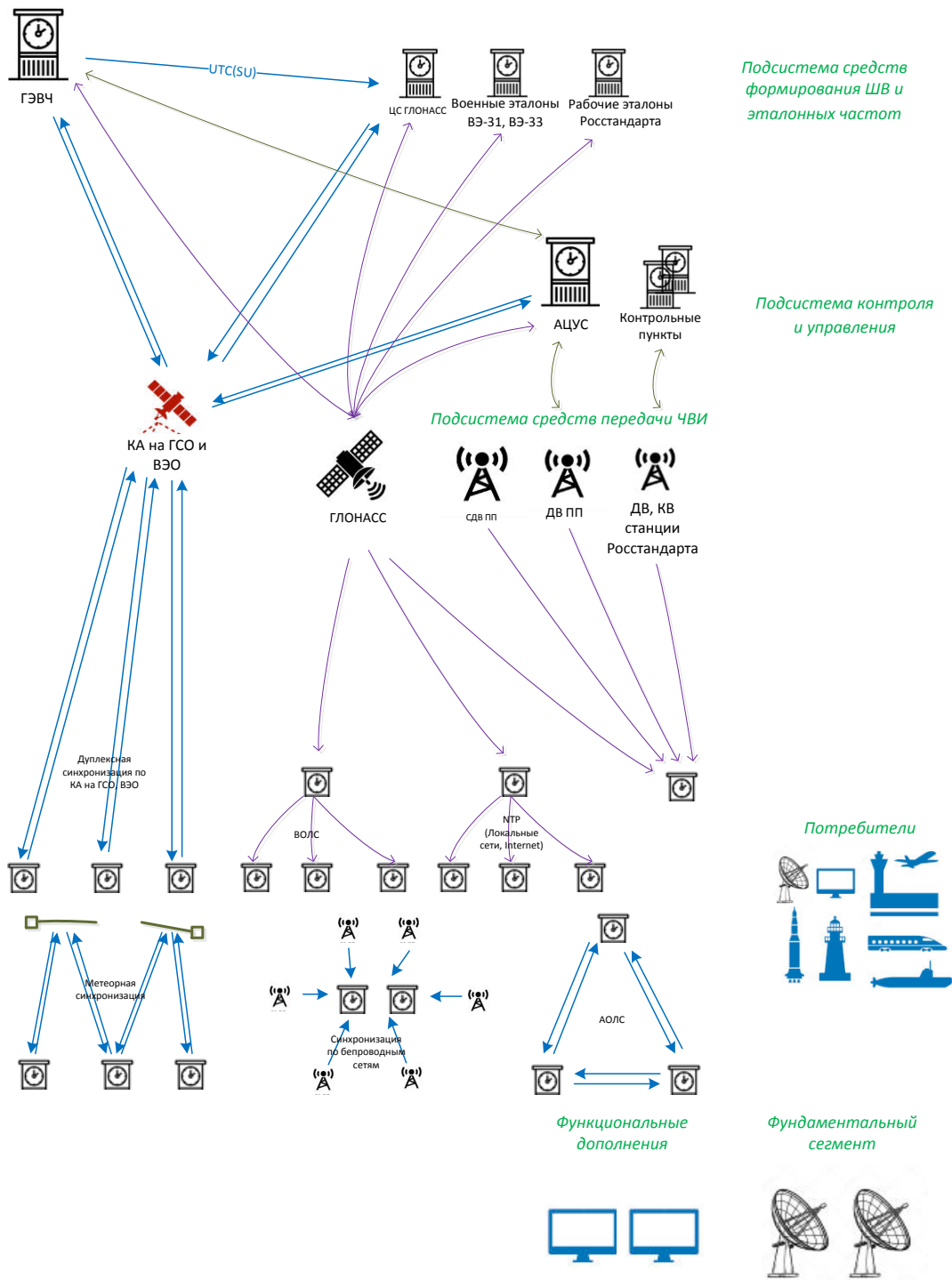


Рисунок 3 – Взаимодействие элементов СФВ РФ

разнесенных объектов в позиционном районе, например, по волоконно-оптическим (ВОЛС) и атмосферно-оптическим линиям связи (АОЛС), а также дифференциальными методами сравнения ШВ по сигналам ГНСС, с применением КА-ретрансляторов на ГСО.

Дополнительно в отдельных регионах для передачи ЧВИ могут быть использованы:

- фазовая радионавигационная система (ФРНС) «Маршрут» (РСДН-20);
- информационная система координатно-временного обеспечения (ИСКВО) «Скорпион»;
- технологии координатно-временного и информационного обеспечения, обрабатываемые в рамках ОКР «Альтернатива-Н»: совместное использование средств ИФРНС, систем функциональных дополнений и локальных систем навигации, ШВ которых взаимно синхронизированы и привязаны к UTC(SU).

В состав *подсистемы контроля и управления*, предназначенной для контроля обеспечиваемых СЕВ РФ характеристик и централизованного управления составными частями СЕВ РФ, включены средства подсистемы контроля и управления ГСЕВЭЧ «Цель»: АЦУС «Цель», Базовый и Восточный контрольные пункты, обеспечивающие контроль создаваемого средствами ГСЕВЭЧ «Цель» временного поля. Вместе с тем, для реализации контроля временного поля, создаваемого средствами, не входящими в состав передающих средств ГСЕВЭЧ «Цель», в частности, специализированными ДВ и КВ станциями Росстандарта, необходимо модернизировать АЦУС и аппаратуру мониторинга контрольных пунктов для возможности приема и контроля сигналов, передаваемых средствами передачи, которые не входят в состав ГСЕВЭЧ «Цель». В свою очередь, на этих станциях необходимо установить аппаратуру для передачи информации о положении их ШВ и телеметрической информации об их работоспособности на контрольные пункты системы «Цель», предусмотрев соответствующие каналы связи.

Подсистема потребителей СЕВ РФ включает в себя как потребителей МО РФ, в том числе, специальных (ОКИК НАКУ, полигоны, космодромы, РЛС и другие), так и потребителей в гражданском секторе критичной инфраструктуры (системы управления транспортом, телекоммуникационные системы, энергетический комплекс, банковская сфера и др.). При этом СЕВ РФ должна быть «открытой» системой, то есть пользоваться ее услугами по предоставлению ЧВИ могут любые потребители, использующие сертифицированную аппаратуру потребителей.

Во избежание негативных последствий в работе средств критичных гражданских потребителей, использующих ЧВИ от зарубежных ГНСС, необходимо организовать государственное регулирование сферы ЧВО (ввести обязательную сертификацию аппаратуры потребителей), а также реализовать резервирование каналов получения ЧВИ и централизованный контроль ШВ, обеспечив требуемую точность синхронизации.

Для обеспечения ряда потребителей, которые предъявляют более высокие требования к точностным характеристикам ЧВО, в СЕВ РФ должна быть предусмотрена возможность использования *функциональных дополнений*, к которым можно отнести систему высокоточного определения эфемерид и временных поправок (СВОЭВП) и систему прецизионной навигации МО РФ.

Для повышения точности определения координат и времени гражданскими потребителями также могут быть использованы данные международной службы ГНСС IGS и функциональных дополнений ГЛОНАСС.

Кроме того, для обеспечения кибербезопасности, на объектах СЕВ РФ должны размещаться средства защиты информации.

3 Предложения по номенклатуре тактико-техническим требованиям, предъявляемым к СЕВ РФ

В результате проведенного анализа существующих и перспективных требований потребителей сформулированы предложения по номенклатуре тактико-технических требований, предъявляемых к СЕВ РФ:

- рабочая зона временного поля (требования предъявляются отдельно для различных средств и способов передачи ЧВИ);
 - доступность поля в рабочей зоне (вероятность приема сигнала при заданной помеховой обстановке);
 - оперативность привязки по сигналам средств передачи ЧВИ (длительность сеанса привязки, интервал между сеансами привязки);
 - погрешность передачи ШВ UTC(SU);
 - погрешность привязки и синхронизации сигналов времени и частоты гармонических сигналов на выходе аппаратуры СЕВ;
 - надежность выдачи сигналов на выходе аппаратуры СЕВ
- целостность:
- должен быть определен порядок передачи потребителям информации о нарушении характеристик передаваемых сигналов времени и частоты;
 - должен быть обеспечен контроль характеристик временного поля в рабочей зоне с необходимыми ТХ;
 - время готовности к выдаче потребителям информации о нарушении характеристик частотно-временного поля;
 - должна быть предусмотрена передача признаков достоверности и точности частотно-временного поля в сигналах передающих средств.

Конкретные значения приведенных характеристик определяются способами доставки ЧВИ и спецификой потребителей и уточняются на основании комплексного анализа требований потребителей, проводимого на начальном этапе создания СЕВ РФ.

4 Технологическая платформа создания СЕВ РФ

При создании СЕВ РФ в качестве базовых технологий средств ЧВО применяются:

- **средства формирования и хранения времени и частоты** – представлены средствами стационарных эталонных комплексов (оптические стандарты частоты, реперы частоты), квантовыми стандартами частоты различного класса (от активных водородных стандартов частоты в составе эталонных комплексов до квантовых стандартов частоты на рубидиевой газовой ячейке в составе стационарной и мобильной аппаратуры потребителя (АП)), кварцевыми генераторами в составе АП с наименьшими требованиями к погрешности хранения ШВ. Диапазон значений нестабильности частоты составляет от $1 \cdot 10^{-8}$ до $1 \cdot 10^{-17}$.

- **средства передачи времени и частоты** – представлены прецизионными средствами локального стационарного применения (ВОЛС, ПКЧ), стационарного глобального применения высокой точности (двухпутевой метод с использованием КА на ГСО, ГНСС), глобального применения средней точности ДВ, СДВ, стационарного регионального применения (при наличии инфраструктуры) – РТР, NTP, глобального (в масштабах страны) применения низкой точности – КВ. Диапазон значений погрешности передачи ШВ – от сотен пикосекунд до десятков миллисекунд.

Среди перспективных средств формирования и хранения времени и частоты можно выделить:

- оптические СЧ;
- СЧ на галерее шепчущих волн;
- перевозимые квантовые часы на основе технологии сверхглубокого охлаждения атомов;
- ядерный СЧ;
- СЧ на одиночном ионе Yb;
- КСЧ на АЛТ с лазерной накачкой и детектированием;
- сверхминиатюрный КСЧ на изотопе рубидия;
- малогабаритный КСЧ на основе эффекта когерентного пленения населенностей (КПН);
- малогабаритный КСЧ на основе двойного радио-оптического резонанса с применением техники импульсной оптической накачки;
- квантовый СЧ на холодных атомах Rb;
- компактный СЧ на основе ионной ловушки и другие.

Среди перспективных направлений развития технологий передачи времени и частоты следует выделить:

- Масштабирование существующих технологий передачи времени по ДВ, ВОЛС, NTP/РТР за счет расширения сетей передачи данных и внедрения в них средств единого времени;
- Создание новых и развитие существующих технологий передачи ШВ:
- Метеорная синхронизация и передача измерительной информации;
- Передача времени по АОЛС (прецизионная линия передачи с субнаносекундной погрешностью для реализации «последней» мили – доставки ЧВИ от аппаратуры СЕВ до потребителя, располагающегося в зоне прямой видимости);
- Использование беспроводных сетей (на логическом и физическом уровне) для синхронизации широкого круга потребителей;
- Повышение ТХ передачи ШВ с использованием СДВ (за счет изменения формата сигналов);
- Взаимная синхронизация ШВ с использованием астрономических источников излучения;
- Взаимная синхронизация ШВ с использованием сигналов ГЛОНАСС Ку-диапазона.

5 Этапность создания СЕВ РФ

Для создания Системы единого времени Российской Федерации требуется реализация следующих мероприятий:

I. На этапе организационной подготовки и формирования требований:

- 1) Утверждение Концепции СЕВ РФ и программы ее создания;
- 2) Постановка и проведение комплексной НИР по выработке решений, необходимых для парирования новых вызовов, в следующих направлениях:
 - исследование необходимости актуализации и создания нормативно-правовых документов в сфере ЧВО;
 - анализ требований существующих и перспективных потребителей ЧВИ с учетом совершенствования военной техники и тенденций развития гражданских потребителей;
 - формулирование требований к СЕВ РФ и её составным частям;
 - разработка модели внешних угроз системе единого времени для их учета при создании СЕВ РФ;
 - анализ и исследование существующих и перспективных технологий ЧВО, направленных на преодоление вызовов, в том числе:
 - а) повышение помехозащищенности приемных устройств и средств передачи ЧВИ;
 - б) рассмотрение возможности использования для передачи временной информации средств передачи из состава других систем, обладающих развитой инфраструктурой;
 - в) повышение автономности временной системной и потребительской аппаратуры за счет использования интеллектуальных технологий;
 - г) обеспечение высокоточной относительной синхронизации территориально разнесенных объектов в позиционном районе;
 - исследование в части оптимизации и унификации протоколов информационно-логического взаимодействия средств системы и аппаратуры потребителей частотно-временной информации;
 - формирование перечня опытно-конструкторских работ, необходимых для создания СЕВ РФ;
- 3) Создание межведомственного координационного органа (координационно-технического совета) по времени и эталонным частотам для реализации организационных и технических мероприятий, а также для оперативного регулирования отношений Министерства обороны, других отраслей экономики и промышленных предприятий, задействованных в создании и эксплуатации СЕВ РФ.

II. На этапе создания технологической платформы

1. Формирование перечней необходимых материалов, электрорадиоизделий, комплектующих изделий, программного обеспечения, обеспечивающих создание средств СЕВ РФ, отвечающих заданным требованиям; постановка соответствующих НИОКР по линии Минпромторга;
2. Проведение НИР по исследованию путей совершенствования СЕВ, созданию перспективных технологий ЧВО.

III. На этапе разработки средств СЕВ РФ:

1. Проведение ОКР по разработке средств системных объектов СЕВ, аппаратуры широкого круга потребителей.

IV. На этапе эксплуатации:

1. Поставка серийной продукции для оснащения объектов МО РФ и объектов критичной инфраструктуры экономики;
2. Выполнение работ по сервисному обслуживанию комплектов поставленной аппаратуры.

Выводы

Создание СЕВ РФ позволит:

- обеспечить переход на принципиально новый, отвечающий современным вызовам уровень точностных характеристик, характеристик надежности, доступности, достоверности, целостности частотно-временного обеспечения потребителей МО РФ и потребителей критичной инфраструктуры;

- создать новые и совершенствовать существующие средства доставки временной информации, которые в значительной степени позволят преодолеть проблемы, вызванные развитием средств радиоэлектронного противодействия, связанные с уязвимостью существующих средств доставки временной информации, в частности, ГНСС ГЛОНАСС;

- реализовать в любое время военно-политической обстановки устойчивое ЧВО потребителей МО, критичных инфраструктур экономики, специальных потребителей;

- обеспечить независимость критических инфраструктур и сфер деятельности государства, связанных с использованием единого времени, от иностранных технологий, систем и средств;

- использовать создаваемую СЕВ РФ как технологическую базу для создания многоуровневой устойчивой системы координатно-временного и навигационного обеспечения РФ.

Блинов Игорь Юрьевич – д.т.н., заместитель генерального конструктора, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей», г. Москва.

Область научных интересов: навигационные системы, эталоны времени и частоты, стандарты частоты, метрология частотно-временных измерений.

E-mail: i.blinov@almaz-antey.ru

Бандура Александр Сергеевич – заместитель начальника научно-исследовательского отделения, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы и средства синхронизации и единого времени, сравнение шкал времени.

E-mail: bandura_as@rirt.ru

Батура Александр Сергеевич – начальник научно-исследовательского отделения, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы и средства синхронизации и единого времени, синхронизация беспилотных летательных аппаратов

E-mail: batura_as@rirt.ru

Белов Леонид Яковлевич – к.т.н., начальник отдела, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы синхронизации и единого времени.

E-mail: l.belov@rirt.ru

Дружин Владимир Ефимович – к.т.н., советник генерального конструктора, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы и средства синхронизации и единого времени, квантовые стандарты частоты.

E-mail: vd321aha@gmail.com

Крупская Анна Вячеславовна – к.т.н., руководитель проектного направления, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы синхронизации и единого времени.

E-mail: anjutka_stud@mail.ru

Скобелин Александр Александрович – заместитель генерального конструктора, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы синхронизации наземных и космических комплексов, сравнение шкал времени, квантовые стандарты частоты.

E-mail: skobelin@rirt.ru

Тюляков Аркадий Евгеньевич – советник генерального директора, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы синхронизации наземных и космических комплексов, сравнение шкал времени, квантовые стандарты частоты.

E-mail: Arkady_ET@mail.ru

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

UNIFIED TIME SYSTEM OF THE RUSSIAN FEDERATION - NEW CHALLENGES OVERCOMING

A new approach on time and frequency distribution to a wide range of users within any military-political situation is considered. The new Unified Time System of Russia is planned to be developed based on the current State Unified Time and Reference Frequencies System "Tsel". The structure, functional scheme, technical requirements list, and development plan for the new Unified Time System of Russia is proposed.

Keywords: unified time system, System "Tsel", time and frequency distribution, time scale.

Blinov Igor Yurievich – Ph.D., chief designer assistant, JSC «Concern Air-Space Defence «Almaz-Antey», Moscow

Field of science: navigational systems, etalons of time and frequency, frequency standards, metrology of time and space.

Bandura Aleksandr Sergeevich – deputy head of research division, JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint-Petersburg.

Field of science: systems and techniques of synchronization and unified time, time scale comparison.

Batura Aleksandr Sergeevich – head of research division, JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint-Petersburg.

Field of science: systems and means of synchronization and unified time, synchronization of pilotless vehicles.

Belov Leonid Yakovlevich – Ph.D., head of department, JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint-Petersburg.

Field of science: systems of synchronization and unified time.

Druzhin Vladimir Efimovich – Ph.D., adviser to a chief designer, JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint-Petersburg.

Field of science: systems and means of time synchronization, atomic frequency standards.

Krupskaya Anna Viacheslavovna – Ph.D., project direction manager, JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint-Petersburg.

Field of science: systems of synchronization and unified time.

Skobelin Aleksandr Aleksandrovich – deputy chief designer, JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint-Petersburg.

Field of science: systems of synchronization of surface and space complexes, times scale comparison, atomic frequency standards.

Tyulyakov Arkady Evgenievich – adviser to a director general, JSC «Russian Institute of Radionavigation and Time», Saint-Petersburg.

Field of science: systems of synchronization of surface and space complexes, time scale comparison, atomic frequency standards.

БЕЗОПАСНОСТЬ СИСТЕМ СИНХРОНИЗАЦИИ НА ОСНОВЕ ГНСС. МОНИТОРИНГ КАЧЕСТВА НАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Вексельман М.И.

В статье рассматриваются факторы, которые влияют на качество навигационного поля, показываются уязвимости навигационных приемников. Особое внимание уделено преднамеренным атакам – джаммингу и спуфингу. Приведена классификация спуфинга ГНСС. Описываются методы по обеспечению безопасности систем синхронизации на основе приемников ГНСС, проводится сравнительный анализ разных методов защиты, их недостатки и преимущества. Детально рассматривается мониторинг качества навигационных систем как средство защиты критической инфраструктуры и эффективной защиты от джамминга и спуфинга ГНСС сигналов.

Ключевые слова: глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС), GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou, мониторинг ГНСС, ГНСС спуфинг, ГНСС джамминг.

1 Описание проблемной ситуации

Одним из главных условий качественной работы цифровых систем передачи данных является стабильная синхронизация всех устройств, работающих с цифровым информационным потоком. Системы синхронизации на базе приемников глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС) с этой задачей прекрасно справляются. На сегодняшний день доступны несколько глобальных навигационных спутниковых систем: GPS, ГЛОНАСС, Galileo, BeiDou. Эти системы обеспечивают покрытие практически всего земного шара, неблагоприятный прием может быть только на полюсах. Стоимость приемников не очень высокая, что дает возможность создать очень стабильную распределенную систему синхронизации. Долгое время такой подход предлагал не только очень высокое качество синхросигнала, но и отличался надежностью [1]. Действительно, точность фазовой синхронизации может достигать ± 100 нс в случае хорошего расположения антенны. Даже в городских застройках, где наблюдается высокий уровень переотражений сигнала от спутников на принимаемой стороне, точность обычно не хуже ± 500 нс. Однако в последние годы надежность получаемых на основе ГНСС координатно-временных определений стала подвергаться сомнению.

Можно выделить несколько факторов, влияющих на качество навигационного поля [3]:

- отражения и многолучевость в условиях плотной городской застройки;
- помехи, создаваемые радиовещательными приборами, такими как передатчики сотовых станций, телевизионные ретрансляторы и т.д.;
- атмосферные явления;

- преднамеренные помехи и подавление сигнала ГНСС (джамминг);
- преднамеренные или непреднамеренные подмены сигнала ГНСС (спуфинг).

Хочется особенно заострить внимание на последних двух факторах, которые стали популярны и интенсивно развиваются в последние годы, и это связано с бурным развитием и доступностью технологии программно-определяемой радиосистемы (*Software Define Radio – SDR*). То, что дешевый подавитель спутникового сигнала ГНСС сейчас можно купить за несколько тысяч рублей, уже никого не удивляет, и то, что его можно встретить у таксиста или водителя большегрузного автомобиля – это тоже реальность, но то, что работа этих устройств может быть непреднамеренной атакой на сервер времени на базе приемника ГНСС, думаю, владельцы этих устройств не очень понимают. Еще более серьезной проблемой может быть подмена сигнала ГНСС или, как это называется в современной терминологии, спуфинг ГНСС. Если еще несколько лет назад устройства, которые могли делать спуфинг, стоили около миллиона долларов, то теперь эти устройства можно собрать за сотни долларов, а программное обеспечение найти в свободном доступе на просторах интернета. Таким образом, этот метод атаки может использоваться и профессиональными хакерами, и быть игрушкой в руках студентов. Также подмена сигналов навигационных устройств может использоваться для охраны стратегических объектов, на массовых мероприятиях, для защиты кортежей высокопоставленных чиновников, в военных учениях и т.д. И в этом случае сервер времени на базе ГНСС приемника может попасть под атаку совершенно непреднамеренную, но очень опасную для всей критической инфраструктуры, где фазовая или временная синхронизация необходима для предоставления сервиса.

2 Постановка задачи получения временной синхронизации

Современные ГНСС приемники в случае джамминга теряют сигнал синхронизации, а в случае спуфинга с высокой долей вероятности могут последовать за ложным сигналом. Не все типы атак возможно определить внутренними средствами приемника, к тому же с каждым годом атаки становятся более сложными и скрытыми. Согласно принятой в научных публикациях [3, 5] классификации, выделяют следующие основные типы спуфинга:

- асинхронный,
- синхронный.

Принципиальная разница в синхронной и асинхронной атаке заключается в том, попадает ли генерируемый сигнал в окно корреляционного анализа приемника ГНСС или нет.

При включении навигационный модуль находится в режиме поиска сигналов спутников. Когда сигналы найдены, приемник переходит в режим слежения (трекинга), а потом переходит в режим захвата. При работе имитатора сигнала ГНСС (спуфера) в случае, если сигнал спуфера не попадает в окно корреляционного анализа по фазе кода или доплеровскому смещению, данный сигнал воспринимается приемником как помеха.

Для выполнения успешной асинхронной атаки необходимо на первом этапе сорвать слежение приемником за реальными сигналами. Как правило, это делается с помощью увеличения мощности спуфера, чтобы мощность генерируемых сигналов в

фазовом центре антенны приемника была на 30-50 дБ выше мощности сигналов реальных спутников. После срыва слежения большинство приемников переходят в режим поиска, а затем в режим захвата от спуфера.

Асинхронная атака достаточно проста в реализации. Для выполнения асинхронной атаки достаточно генерировать сигналы спутников с правильной модуляцией и структурой кадров.

При синхронной атаке сигналы спуфера полностью идентичны сигналам спутников по фазе и доплеровскому смещению, поэтому приемник «бесшовно» переходит на ложные сигналы без срыва слежения. При синхронной атаке мощность спуфера должна быть на 4 дБ выше мощности сигналов спутников.

Синхронная атака намного сложнее по сравнению с асинхронной. Для успешного ее выполнения необходима точная синхронизация с сигналами спутников. В фазовом центре антенны приемника ГНСС нужно имитировать сигналы с точной фазой кода, доплеровским смещением, координатами и временем. Генерируемые сигналы должны содержать идентичные данные альманаха и эфемерид.

На первом этапе синхронной атаки имитируются сигналы, полностью идентичные настоящим, с небольшим уровнем мощности. Потом мощность плавно поднимается, чтобы быть как минимум на 4 дБ выше мощности настоящих сигналов. Таким образом, происходит захват коррелятора. В дальнейшем возможно постепенное изменение координат и/или времени. Схематично этапы синхронной атаки показаны на рисунке 1.

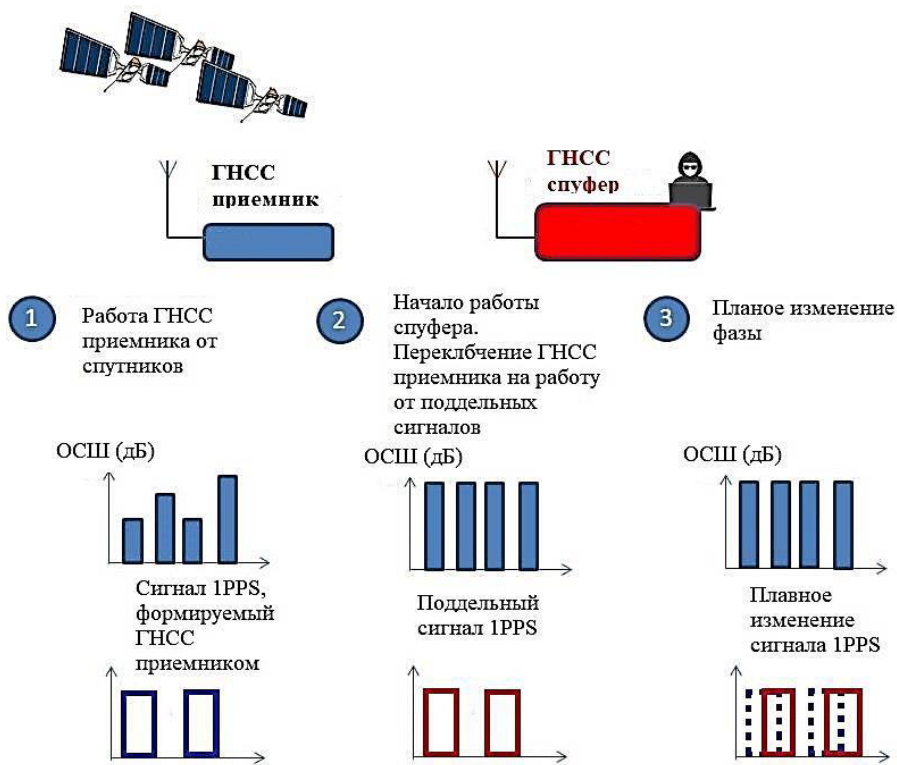


Рисунок 1 – Этапы синхронной атаки

Специалистами нашей компании было проведено много экспериментов, в результате которых было установлено, что все ГНСС приемники и серверы времени, основанные на навигационных системах, подвержены преднамеренным или непреднамеренным атакам. Примерно через 10-15 секунд после начала атаки сервер может потерять сигнал и подстроиться под ложные сигналы. В ходе атаки на одну из навигационных систем другие навигационные системы могут подавляться. Таким образом, использование нескольких созвездий ГНСС приемником не гарантирует защиту от спуфинга. Необходимо отметить, что большинство ГНСС приемников используют сигналы системы GPS как первый приоритет. В этом случае спуфинг только GPS сигналов может привести к некорректной работе сервера времени.

Эксперименты и наблюдения за реальными атаками показали следующие результаты:

а) Так как приёмник ГНСС не может измерять абсолютный уровень мощности сигналов спутников, то для детектирования спуфинга можно использовать только отношение сигнал/шум. Но отношение сигнал/шум можно симитировать, подмешивая белый шум к сигналам спутника. Опыт показывает, что при «реальном» спуфинге в Москве характеристика отношение сигнал/шум (ОСШ) понижается.

б) Даже при асинхронном спуфинге координаты могут не меняться, если проводится преднамеренная атака на вашу инфраструктуру.

в) При проведении «реального» спуфинга на GPS и ГЛОНАСС другие системы, как правило, глушатся.

г) Вероятность обнаружения синхронного спуфинга с множеством передатчиков в значительной степени зависит от точности синхронизации генераторов и их расстановки относительно цели.

Условно можно сказать, что для сервера времени на базе ГНСС-приемника атака подавления сигнала (джамминг) не так опасна, так как сервер в это время может перейти в режим удержания и работать автономно достаточно продолжительное время (в зависимости от качества внутреннего генератора). В то же время причина отсутствия сигналов со спутников останется неизвестной для операторов, следящих за работой сервера, т.к. повреждение антенного тракта или другие факторы также могут повлиять на отсутствие сигнала, и это, конечно, доставляет неудобство в обслуживании системы синхронизации. В случае профессионального спуфинга на сервере времени на базе ГНСС-приемника ошибки о нарушении работы системы ГНСС вообще не будут выявлены.

Какими могут быть средства борьбы с такими атаками?

а) Передача сигналов точного времени по наземным каналам связи от доверенного источника, например, Государственного эталона времени и частоты (ГЭВЧ). Такой метод действительно может защитить от любых преднамеренных или непреднамеренных атак, но не всегда возможно прямое подключение к эталону времени и/или частоты по каналам связи не только по организационным причинам, но и по техническим, т.к. к транспортной сети передачи данных предъявляются очень высокие требования в случае использования протокола RTP версии 2 (IEEE 1588 -2008).

б) Использование высокостабильных эталонных стандартов частоты на основе цезиевых или водородных стандартов. Этот метод позволяет строить автономную систему, которая достаточно долго может работать независимо от навигационных си-

стем. К недостаткам данного метода следует отнести высокую стоимость эталонных стандартов частоты. Кроме того, при долгой эксплуатации метка временной шкалы UTC будет отклоняться от стандарта и нуждаться в периодической подстройке [2], а так как наиболее простым методом подстройки является использование навигационного приемника, в момент подстройки мы должны быть уверены, что принимаем не ложный сигнал.

в) Использование специализированных антенных фазовых решеток. Такие антенны достаточно дороги по сравнению с обычными ГНСС антеннами, они эффективно могут противодействовать подавлению (джаммингу) ГНСС, но не могут защитить от всех видов спуфинга. Еще одним недостатком таких антенн является то, что их элементная база очень чувствительна к температурным перепадам.

г) Построение системы мониторинга качества навигационного поля. Данная статья предлагает подробнее рассмотреть этот метод как наиболее эффективный, но не исключает использование и трех предыдущих и может работать в комплексе с ними.

В таблице 1 приводится краткое сравнение методов и отмечены преимущества и недостатки каждого из них.

Т а б л и ц а 1 – Сравнение методов защит от ГНСС атак

| Метод защиты | Преимущества | Недостатки |
|------------------------------------|--|--|
| Наземные каналы связи | - построение системы синхронизации на существующих каналах связи | - зависимость от топологии сети; - поиск доверенного источника синхронизации |
| Высокостабильные стандарты частоты | - построение автономной системы | - высокая стоимость |
| Антенные решетки | -не требует серьезной модернизации системы (только замена антенны) | - высокая стоимость; - ограниченная защита; - чувствительность к перепадам температуры |
| Система мониторинга | - контроль разных систем GNSS; - реализация различных сценариев | - интеграционные работы с существующей системой синхронизации |

3 Использование системы мониторинга качества навигационного поля

Система мониторинга представляет из себя программно-аппаратный комплекс, состоящий из многоканальных датчиков и сервера управления датчиками. Типовая схема системы мониторинга приведена на рисунке 2. У каждого сервера времени на основе ГНСС-приемников, нуждающихся в защите от атак, устанавливается многоканальный датчик, собирающий статистику от разных навигационных систем *GPS*, *ГЛОНАСС*, *Beidou* или *Galileo*. Для гарантированного обнаружения спуфинга используется три канала, что позволяет реализовать пространственные методы детектирования атак и определения направления прихода сигнала. Статистика передается на сервер, где работает нейронная сеть, в которой реализованы различные алгоритмы определения атак или других помех, созданных около антенны [4]. При обнаружении атаки или помехи сервер посылает датчику сообщения об аварии, и в зависимости от типа аварии могут выполняться следующие действия:

- датчик может блокировать ГНСС антенну, а сервер времени перейдет в режим удержания;

- датчик может передать команду не использовать одну из навигационных систем как источник синхронизации (в случае аварии только одной из навигационных систем);

- датчик может передать команду на сервер времени о том, что в качестве источника синхронизации надо использовать другой доверенный сервер.

Система мониторинга работает в режиме реального времени. Для обнаружения и блокировки атаки на сервер времени системе мониторинга необходимо 3-4 секунды.

Преимущества системы мониторинга навигационных систем:

- контроль качества всех глобальных навигационных систем;
- логирование и журналирование всех происходящих инцидентов, составление статистики инцидентов;
- существует техническая возможность определения источника помех;
- надежная защита серверов времени от любых типов атак (джамминг, синхронный спуфинг, асинхронный спуфинг);
- использование одного сервера мониторинга для любого числа датчиков;
- настройка разных сценариев при различных атаках;
- с помощью системы мониторинга может быть проведена оценка правильности установки антенны.

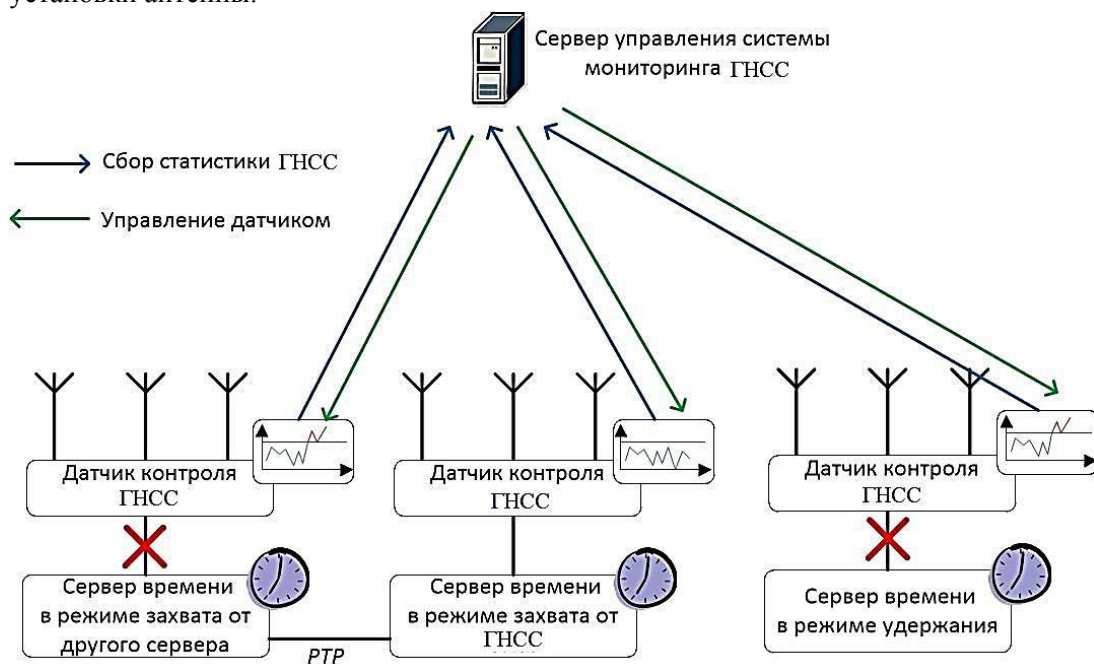


Рисунок 2 – Использование системы мониторинга качества навигационных систем

Заключение

В статье рассматривались разные способы защиты от атак на приемники глобальных навигационных спутниковых систем, которые могут приводить к формированию сервером некорректной временной метки с последующей нестабильной работой системы синхронизации и, как следствие, системы связи в целом. Наибольшее

внимание уделено защите, основанной на различных алгоритмах поиска аномалий ГНСС сигналов и реализованной с помощью системы мониторинга ГНСС. Как основной метод поиска атак на ГНСС выбран пространственный метод определения направления прихода сигнала.

В настоящее время на рынке систем мониторинга ГНСС имеются отечественные образцы, позволяющие контролировать всю критическую инфраструктуру из единого центра управления, что является идеальным решением для систем, требующих точной синхронизации, таких как мобильные системы 5G, финансовые учреждения (банки и биржи), цифровое телевидение, центры обработки данных и системы энергетики.

Литература

- 1 Одуан К., Гино Б. Измерение времени. Основы GPS. – М.: Техносфера, 2002 – 400 с.
- 2 Миллс Дэвид Л. Сличение времени в компьютерных сетях. Протокол сетевого времени на Земле и в космосе: Пер. с англ. – Киев, 2011. – 464 с.
- 3 Van der Merwe, Johannes & Zubizarreta, Xabier & Lukcin, Ivana & Rügamer, Alexander & Felber, Wolfgang. (2018). Classification of Spoofing Attack Types. 10.1109/EURONAV.2018.8433227.
- 4 Ke Liu, Wenqi Wu, Zhijia Wu, Lei He, and Kanghua Tang. Spoofing Detection Algorithm Based on Pseudorange Differences. 2018; PMC6210954.
- 5 Broumandan A., Jafarnia-Jahromi A., Lachapelle G. Spoofing detection, classification and cancelation (SDCC) receiver architecture for a moving GNSS receiver. GPS Solut. 2015; 19:475-487.

Вексельман Михаил Ильич – кандидат технических наук, ведущий инженер, ФГАНУ ЦИТИС, г.Москва.

Область научных интересов: синхронизация в сетях связи, транспортные сети связи, системы единого времени, глобальные навигационные спутниковые системы в сетях синхронизации.

Email: mv@maxnavi.ru

Адрес: ул. Пресненский Вал, 19 стр.1, Москва, 123557.

SECURITY OF GNSS-BASED SYNCHRONIZATION SYSTEM. MONITORING THE QUALITY OF NAVIGATION SYATEM.

Recently, the use of GNSS systems as synchronization sources for time servers has become unsafe due to the risk of spoofing GNSS signals. This article discusses the factors that affect the quality of the navigation field, shows the vulnerabilities of navigation receivers. We pay special attention to deliberate attack and spoofing. The methods for ensuring the security of synchronization systems based on GNSS receiver are described, a comparative analysis of different protection methods, their disadvantages and advantages is carried out. The quality monitoring of navigation systems is considered in detail as a means of protecting critical infrastructure and effective protection against jamming and spoofing of GNSS signals. We also give the criteria for assessing the quality of the navigation signal for determining anomalies and substitution of the GNSS signal.

Keywords: GNSS, GPS, GLONASS, Gallileo, Beido, monitoring, GNSS spoofing, GNSS jamming.

Mikhail Vekselman, PhD, Director MaxMavi LTD.

Research interests: Synchronization in telecom network, Transport telecom network, GNSS in synchronization.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ОБОРУДОВАНИЯ СЕТЕВОЙ СИНХРОНИЗАЦИИ

Воробьев А.С., Сторожук Н.Л.

Статья посвящена теме изменения требований к синхронизации цифровых телекоммуникационных сетей в связи с развитием новых технологий передачи сигналов и появлению современного отечественного оборудования синхронизации, отвечающего этим требованиям. Рассматриваются вопросы развития технологий передачи цифровых сигналов и связанные с этим изменения требований к тактовой и временной синхронизации сетевого оборудования, а также приводится пример современного отечественного оборудования синхронизации.

Ключевые слова Сетевая синхронизация; частотно-временная синхронизация; ПЦИ; СЦИ; LTE; 5G; NTP; PTP; SyncE; ГНСС.

На начальном этапе развития цифровых систем передачи информации в сетях с коммутацией каналов применялась технология временного разделения каналов основанная на плезеохронной цифровой иерархии (ПЦИ или *PDH* от англ. *Plesiochronous Digital Hierarchy*). Данная технология не требовала синхронизации тактовой частоты всех узлов сети связи и позволяла передавать информацию со скоростями до 139264 кбит/с, что было достаточно для сетей связи на основе меднокабельных линий. В ПЦИ скорость составных потоков выше, чем сумма скоростей потоков в него входящих, а выравнивание скоростей при мультиплексировании происходит при помощи стаффинга, представляющего из себя процедуру «дополнения» потока служебными битами. При демультиплексировании служебные биты изымаются.

С появлением оптических магистральных линий связи и потребности в больших скоростях передачи информации в сетях с коммутацией каналов стала применяться технология синхронной цифровой иерархии (СЦИ: англ. *SDH – Synchronous Digital Hierarchy*). Данная система передачи данных, основана на синхронизации тактовой частоты оборудования на всех узлах связи сети, что позволяет передавать информацию со скоростями до 9953280 кбит/с.

Для работы технологии СЦИ необходимо синхронизировать задающие генераторы всего оборудования сети. Таким образом, появилась необходимость в создании единой системы тактовой сетевой синхронизации (ТСС), обеспечивающей синхронизацию частот задающих генераторов всех цифровых устройств связи. При этом относительная точность установки частоты согласно рекомендации МСЭ-Т G.811 должна быть не хуже $\pm 1 \times 10^{-11}$ по отношению к номинальному значению. Это связано с необходимостью обеспечения высокого качества взаимодействия сетей, использующих разные источники опорной частоты, например, для международного соединения [1].

Рекомендации по построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации утверждены приказом Министерства

цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации № 1339 от 15 декабря 2021 года [2].

Основной задачей ТСС является обеспечение синхронной работы генераторного оборудования потребителей. При этом источником синхронизации для сети является первичный эталонный генератор (ПЭГ), от которого синхросигналы передаются по цифровым линиям передачи вплоть до потребителя. Поскольку в процессе передачи синхросигналов через большое количество генераторов оборудования линий передачи происходит неизбежное накопление фазовых шумов, то необходимо принимать меры по фильтрации сигналов синхронизации. Для выполнения этой задачи на сети ТСС устанавливаются вторичные задающие генераторы (ВЗГ).

ВЗГ выполняет функции восстановления качества передаваемого по сети синхросигнала от ПЭГ, распределения этого сигнала на необходимое количество выходов, и, при пропадании входного синхросигнала, запоминание его временных характеристик с целью получения качественного синхросигнала на выходе ВЗГ в режиме удержания частоты в соответствии с требованиями рекомендации МСЭ-Т G.812 и стандарта *ETSI 300-462-4*.

При этом, к ВЗГ предъявляются высокие требования стабильности собственных опорных генераторов частоты, а также надежности (в том числе за счет стопроцентного резервирования всех блоков), позволяющих в течение достаточно длительного времени выполнять функции резервных источников синхронизации участка сети в случаях каких-либо аварийных ситуаций.

Другой важной функцией ВЗГ является автоматический контроль с помощью встроенных средств реального качества синхросигналов, переданных по сети ТСС и поданных на вход ВЗГ, а также работоспособности самих ВЗГ как основных узлов сети синхронизации.

Кроме синхронизации частоты в телекоммуникационном оборудовании узлов сети синхронизируется и время, это необходимо для обеспечения процессов сбора информации об использовании телекоммуникационных услуг, их тарификацию, выставление счетов абонентам, обработку платежей и др.

Современные технологии сотовой связи требуют для своей работы высокоточной синхронизации сетевого оборудования по времени (фазе) для того, чтобы гарантировать беспрепятственное подключение абонентов к базовой станции и обеспечение плавной передачи обслуживания при его передвижении из одной соты в другую.

Например, на сети мобильной связи работающих по технологии *LTE* или *5G* должны быть реализованы два основных компонента синхронизации:

- синхронизация по тактовой частоте;
- синхронизация шкалы времени, в том числе и начальной фазы, т.е. начала отсчёта секундного интервала.

Для современных сетей мобильной связи необходимо обеспечить синхронизацию начальной фазы отсчёта секунды с точностью до сотен или даже десятков наносекунд.

Для целей расчёта объёма оказанных услуг связи Министерство связи и массовых коммуникаций Российской Федерации приказом № 673 от 20.12.2016 г. регламентирует, что разность шкал времени в сетях операторов связи относительно национальной шкалы времени *UTC (SU)* должна быть не более 1 с, а приказом № 538 от

05 октября 2017 г. министерство утвердило методику измерений разности шкал времени на основе протоколов *NTP* и *PTP* [3] [4].

NTP (англ. *Network Time protocol*) – протокол сетевого времени, принцип работы которого основан на многоуровневой системе с множеством источников шкалы времени. *NTP* эффективно обеспечивает синхронизацию часов по сетям передачи данных с коммутацией пакетов и переменной задержкой. Одним из ключевых преимуществ этого протокола является возможность передачи меток времени непосредственно по пакетной сети передачи данных, что позволяет отказаться от отдельной шины точного времени. Протокол *NTP* обеспечивает приемлемую точность синхронизации для большинства приложений, он может поддерживать синхронизацию шкал времени с точностью до десятков миллисекунд. Асимметричные маршруты передачи данных и перегрузка сети могут привести к ошибкам в 100 мс и более.

PTP (англ. *Precision Time Protocol*) – протокол точного времени, используемый для синхронизации часов в сетях с коммутацией пакетов. Протокол *PTP* реализуется одновременно на программном и аппаратном уровне устройства. Точность достигается за счет проставления меток времени сообщений *PTP* на аппаратном уровне. *PTP* подразумевает обмен двусторонними сообщениями с метками времени. На основе полученных меток времени рассчитывается задержка.

Протоколы *NTP* и *PTP* рассчитаны на работу в сетях с коммутацией пакетов. Наиболее распространенная сегодня технология пакетной передачи данных – *Ethernet* – достигает в настоящее время скоростей до 100 Гбит/с. В 2017 году были утверждены стандарты на 200 и 400 Гбит/с. В плане дальнейшего развития предполагается увеличение максимальных скоростей до 800 Гбит/с и 1,6 Тбит/с [5]. Успех этой технологии связан, еще и с тем, что она обеспечивает самую дешевую передачу цифровой информации. Не лишена технология *Ethernet* и недостатков, изначально она разрабатывалась для использования в локальных сетях и методы линейного кодирования выбирались исходя из этой задачи, поэтому она наряду с тем, что не обеспечивает гарантированную и своевременную доставку информации, также не предполагает передачу синхросигналов тактовой синхронизации. Переданные по сети *Ethernet* метки времени устанавливают значение времени на ведомых часах, но они не могут обеспечить высокоточную их привязку к началу секунды, то есть не обеспечивают фазовую синхронизацию.

Точную фазовременную синхронизацию оборудования сети, с точностью, требующейся для современных сетей мобильной связи, может обеспечить протокол *PTP* только при работе в сетях с технологией синхронного *Ethernet*.

Синхронный *Ethernet* (*Synchronous Ethernet*) также называемый *SyncE*, является стандартом МСЭ-Т, который обеспечивает передачу тактовых сигналов через физический уровень *Ethernet*. Целью является предоставление сигнала синхронизации тем сетевым ресурсам, которые в конечном итоге могут потребовать такого типа сигналы.

При создании технологии *Sync Ethernet* физический уровень и методы кодирования были заимствованы у технологии *SDH*, а второго (канального) уровня изменения практически не коснулись. Структура кадров осталась неизменной, за исключением *ESMC* сообщения о статусе синхронизации. Его значения также были заимствованы в технологии *SDH* (*SSM*-сообщения об уровне качества синхросигнала).

К преимуществам технологии *SyncE* можно отнести использование *SDH*-структуры физического уровня, а вместе с этим – огромный и бесценный опыт проектирования и построения сетей тактовой сетевой синхронизации, наработанный ранее. Дорогие устройства – первичные эталонные генераторы, вторичные задающие генераторы – могут быть задействованы также и в новой транспортной сети, построенной на основе *Sync Ethernet*.

Традиционная тактовая сетевая синхронизация опиралась на точное распределение тактовой частоты, но развивающиеся сети мобильной связи требуют точного распределения параметров фаза/время. По мере эволюции от сетевой инфраструктуры от коммутации каналов к коммутации пакетов меняются возможности и способы распределения сигналов синхронизации. Разработаны рекомендации МСЭ-Т G.8261, G.8262 и G.8264, в соответствии с которыми можно использовать физический уровень Ethernet в качестве механизма распределения тактовой частоты, аналогичного методам, применяемым для тактовой сетевой синхронизации на сетях, построенных на принципах синхронной цифровой иерархии [6].

С появлением новых требований к синхронизации цифровых телекоммуникационных сетей изменилось и оборудование синхронизации, прежде всего это коснулось вторичных задающих генераторов, как наиболее массовых устройств, являющихся еще и составной частью первичного эталонного генератора. В составе ВЗГ появились приемники глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), а также серверы *NTP* и *PTP*. В качестве входных синхросигналов для ВЗГ наряду с сигналами от ПЭГ стали использоваться сигналы *SyncE*, импульсы начала секунды (1 PPS) и сигналы от спутников ГНСС. Расширился и спектр выходных сигналов ВЗГ и ПЭГ, к традиционным синхросигналам 2048 кГц и 2048 кбит/с добавились сигналы с частотой 10 МГц, 5 МГц, 1 МГц и сигнал 1 PPS.

В качестве примера современного оборудования синхронизации, можно привести выпускаемые АО НПП «КОМЕТЕХ» ВЗГ «СОНАТА-У», ПЭГ «СОНАТА-Э» и ПЭГ «СОНАТА-Ц». В состав ПЭГ входит ВЗГ и два первичных эталонных источника (ПЭИ), на основе цезиевого стандарта частоты в СОНАТА-Ц и на основе водородного стандарта частоты в СОНАТА-Э



Рисунок 1 – ВЗГ СОНАТА-У

Оборудование СОНАТА-Э, СОНАТА-Ц и СОНАТА-У сертифицировано в системе сертификации в области связи, разработаны и производятся в России, в их составе нет заимствованных зарубежных программных и аппаратных модулей. В случаях применения аппаратуры в сетях связи специального назначения, может быть проведена оценка соответствия изделия установленному заказчиком для конкретной сети

связи уровню доверия, а также доработка изделия по требованиям устанавливаемого профиля защиты.



Рисунок 2 – ПЭГ:
а – СОНАТА-Э, б – СОНАТА-Ц

Литература

1 Рыжков А.В., Шварц М.Л. Современные тенденции развития систем сетевой синхронизации в сетях электросвязи. От плезизорнных до когерентных сетей // Системы синхронизации, формирования и обработки сигналов. – 2021. – № 4.

2 Приказ Минцифры России «Об утверждении рекомендаций по построению сети связи общего пользования в части системы обеспечения тактовой сетевой синхронизации» от 15 декабря 2021 года № 1339.

3 Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации №673 от 20.12.2016 г. Об утверждении требований к организационно-техническому обеспечению устойчивого функционирования сети связи общего пользования в части установления требований к допустимой величине разности (расхождению) шкал времени в сетях операторов связи. В котором установлены нормы на разность (расхождение) шкал времени в сетях операторов связи относительно национальной шкалы времени Российской Федерации;

4 Приказ Министерства связи и массовых коммуникаций Российской Федерации от 05 октября 2017 г. № 538 «Об утверждении Методики измерений разности (расхождения) шкал времени на основе протоколов NTP и PTP».

5 Сторожук М. Мониторинг сетевого трафика в магистральных сетях для обеспечения работы сетей TSN// Первая миля. – 2022. – № 3.

6 Коган С. СЕТИ 5G: распределение сигналов синхронизации на оптическом транспортном уровне // Первая миля. – 2022. – №№ 4-6.

Воробьев Александр Сергеевич – кандидат технических наук, старший научный сотрудник, начальник отдела синхронизации и точного времени, АО НПП «КОМЕТЕХ», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования проблем тактовой сетевой синхронизации, вопросы, связанные с повышением точности измерений фазовых блужданий.

Email: vas@kometeh.ru

Сторожук Николай Леонидович – кандидат технических наук, генеральный директор, АО НПП «КОМЕТЕХ», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования проблем тактовой временной и фазовой сетевой синхронизации, вопросы, связанные с повышением точности установки временных меток.

Email: snl@kometeh.ru

Россия, г. Санкт-Петербург, 196006, ул. Парковая, д. 4, литера А, ком. 405.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF NETWORK SYNCHRONIZATION EQUIPMENT

The article is devoted to the topic of changing the requirements for synchronization of digital telecommunication networks in connection with the development of new signal transmission technologies and the emergence of modern domestic synchronization equipment that meets these requirements. The issues of the development of digital signal transmission technologies and the related changes in the requirements for clock and time synchronization of network equipment are considered, and an example of modern domestic synchronization equipment is given.

Keywords Network synchronization; frequency-time synchronization; PCI; SDH; LTE; 5G; NTP; PTP; SyncE; GNSS.

Vorobyov Alexander Sergeevich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Head of the Synchronization and Accurate Time Department, AO NPP KOMETEKH, St. Petersburg.

Area of scientific interests: research of network clock synchronization problems, issues related to improving the accuracy of phase wander measurements.

Storozhuk Nikolai Leonidovich – Candidate of Technical Sciences, General Director, JSC NPP “KOMETEKH”, St. Petersburg.

Area of scientific interests: studies of clock time and phase network synchronization problems, issues related to improving the accuracy of setting time stamps.

О ВНЕДРЕНИИ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИМПОРТОНЕЗАВИСИМОСТИ В РАСХОДНЫХ МАТЕРИАЛАХ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ФИКСАТОРОВ ВИБРОДАТЧИКОВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ РАЗРАБАТЫВАЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ

Кургузиков Р.О., Курчанов И.А., Орлов Ф.Л., Гусейнов Т.З.

В статье рассматриваются варианты решения вопросов обеспечения импортонезависимости в части расходных материалов посредством применения современных аддитивных технологий при изготовлении фиксаторов для крепления вибродатчиков системы управления механическим стендом. Проводятся исследования использования различных методик печати на 3D-принтере, применения различных материалов для печати, а также рассматриваются различные варианты конструкции фиксаторов и оценивается себестоимость и целесообразность изготовления собственными силами предприятия.

Ключевые слова: вибродатчики, механические испытания, обеспечение импортонезависимости, фиксаторы вибродатчиков, расходные материалы, аддитивные технологии, 3D-печать, 3D-моделирование.

Введение

Нашим предприятием разрабатывается и поставляется потребителю огромное количество радиоэлектронной аппаратуры, включающей изделия координатно-временного обеспечения, навигационную аппаратуру потребителя, различные системы синхронизации, широкую номенклатуру стандартов частоты и т.д. Аппаратура применяется на космических, наземных, авиационных, морских, речных объектах. При этом у заказчиков постоянно возрастают требования к качеству изделий, их надежности, а также наблюдается тенденция к необходимости удлинения жизненного цикла. Чтобы обеспечить соответствие изделий столь высоким требованиям, на этапе формирования технического задания закладываются все более жесткие требования, в том числе к испытаниям продукции, как на этапе разработки, так и при выпуске из производства. Среди большой номенклатуры испытаний значительную долю составляют испытания на механические воздействия (синусоидальная вибрация, широкополосная вибрация, вибрация с использованием сигналов специальной формы, а также различные виды ударов). Испытания могут проводиться при исследовании макетов разрабатываемых устройств, при проверке качества сборки в процессе производства (например, технологическая тряска в рамках техпроцесса), при предъявлении готовой продукции и т.д.

В процессе испытаний оценивается соответствие изделия требованиям, заявленным в техническом задании. При этом на качество испытаний может оказываться влияние множества факторов, наличие любого из которых может приводить к иска-

жениям полученных результатов и, соответственно, к принятию ложных решений о соответствии изделия техническому заданию.

Рассмотрим ситуацию на примере механических испытаний на воздействие вибрации и удара, где одним из ключевых факторов является точность измерения параметров воздействия вибрации и удара.

В значительной степени на качество механических испытаний может влиять используемая оснастка для закрепления контактных датчиков вибрации (вибродатчиков или акселерометров) на изделии и испытательном столе вибростенда – фиксаторы. Для проведения испытаний вибродатчики подключаются к системе управления, которая позволяет с использованием специального программного обеспечения устанавливать и измерять при проведении испытаний необходимые условия воздействия на изделие. Основная функция фиксаторов – обеспечение крепления вибродатчиков, устанавливаемых в требуемых по методике испытаний точках.

Для измерения вибрации и удара применяется большое разнообразие пьезоэлектрических датчиков. Для исключения возможности искажения проводимых измерений параметров вибрации, удара и обеспечения достоверности измерений необходимо, чтобы датчики были подобраны и корректно установлены.

В АО «РИРВ» в эксплуатации находится несколько электродинамических стендов, в управляющих системах которых на протяжении многих лет применяются датчики фирмы «*Bruel&Kjaer*», для установки которых используются специальные фиксаторы этого же производителя. Подобные фиксаторы являются расходным материалом, обеспечивают простую и быструю установку датчиков, при этом позволяют устанавливать датчики на различные поверхности при помощи клея, воска и различных мастик. Производитель предполагает однократное применение фиксатора. Но практика показала возможность эксплуатировать фиксаторы многократно без потери качества проведения испытаний, применяя их вплоть до механического повреждения и непригодности для установки. Данные фиксаторы периодически закупались в оптовых объемах у производителя или официального дилера и использовались определенные промежутки времени (с учетом многократного применения – до нескольких сотен штук в год). Однако в последнее время в условиях санкций приобретение оригинальных изделий у производителя становится либо затруднительным (сроки закупки увеличились до полугода и более), либо невозможным – может возникнуть ситуация отказа производителя поставлять данные приспособления в РФ. Данное обстоятельство требует принятия мер по созданию значительного запаса изделий, что не всегда просто и оперативно реализуемо, по поиску возможных вариантов замены оригинальных фиксаторов на аналогичные по параметрам, но более доступные для приобретения.

Поэтому для решения вопроса снижения затрат времени и снятия зависимости от иностранных поставщиков группой авторов данной статьи был разработан способ изготовления фиксаторов на территории предприятия с помощью аддитивных технологий (3-D микропечати) и проведены исследования готовых изделий на соответствие предъявляемым требованиям. Также рассмотрены различные материалы и методики печати, проведен анализ полученных данных. Дополнительным положительным результатом исследований является получение возможности самостоятельного изготовления нестандартных установочных приспособлений для проведения испытаний рассмотренными методами.

Следует еще раз отметить, что применяемые фиксаторы являются промежуточным звеном между датчиком и поверхностью изделия или стола вибростенда, поэтому должны обеспечивать надежную установку, иметь механическую прочность и не допускать внесения искажений в результаты измерений, что определяется качеством материала и технологией изготовления фиксаторов.

1 Общие положения и краткая информация о различных способах крепления вибродатчиков

На практике наиболее широкое применение при проведении испытаний на механические воздействия получили контактные датчики вибрации, соединенные с поверхностью вибрирующей конструкции посредством механического крепления. При этом существует несколько способов крепления вибродатчиков. В качестве общих требований к креплению вибродатчика можно отметить следующие:

- поверхность, на которую устанавливается вибродатчик, должна быть гладкой очищенной от загрязнений и, при необходимости, дополнительно обработанной;
- для уменьшения погрешности измерений необходимо обеспечить минимальное расхождение между осью чувствительности вибродатчика и направлением измерений.

Обзор критериев, определяющих выбор способа крепления в соответствии с ГОСТ ИСО 5348-2002 [1], приведен в таблице 1.

Т а б л и ц а 1 – Критерии, определяющие выбор метода крепления

| Крепление | Резонансная частота | Температура | Масса датчика и жесткость крепления | Добротность на резонансе Q | Необходимость подготовки поверхности |
|--|---------------------|-------------|-------------------------------------|----------------------------|--------------------------------------|
| Шпилька | В | В | В | В | В |
| Метилцианоакриловый клей | В | В | В | В | |
| Пчелиный воск | С | Н | С | В | В |
| Двусторонняя липкая лента | Н | С | Н | Н | В |
| Устройство быстрого крепления | С | В | С | С | С |
| Вакуумное крепление | С | В | В | С | С |
| Магнит | С | В | Н | Н | В |
| Ручной щуп | Н | Н* | Н | Н | Н |
| * - зависит только от расстояния между рукой и точкой измерения вибрации. Обозначения: В – высокое удовлетворение критерию; С – среднее удовлетворение критерию; Н – низкое удовлетворение критерию. | | | | | |

Как следует из таблицы, каждый способ крепления имеет свои достоинства и недостатки и, очевидно, что лучшим и наиболее эффективным является способ креп-

ления на шпильку [2]. Такой способ не всегда возможно обеспечить, особенно если требуется измерять параметры воздействия вибрации на испытываемом изделии и на различных элементах конструкции.

При испытаниях на воздействие вибрации с учетом широкой номенклатуры изделий, как на этапе разработки, так и серийного производства, хорошо зарекомендовал себя способ установки вибродатчика на устройство с помощью быстрого крепления, представляющего собой клипсу производства фирмы «*Bruel&Kjaer*» (рисунок 1), которая устанавливается на метилэтилметакрилатный клей или синтетический воск, получивший достаточно широкое распространение в настоящее время. Приспособление для установки вибродатчика – фиксатор фактически предназначен для однократного использования, но при аккуратности обращения допускает повторное использование (до нескольких раз), далее приходит в негодность и требует замены.

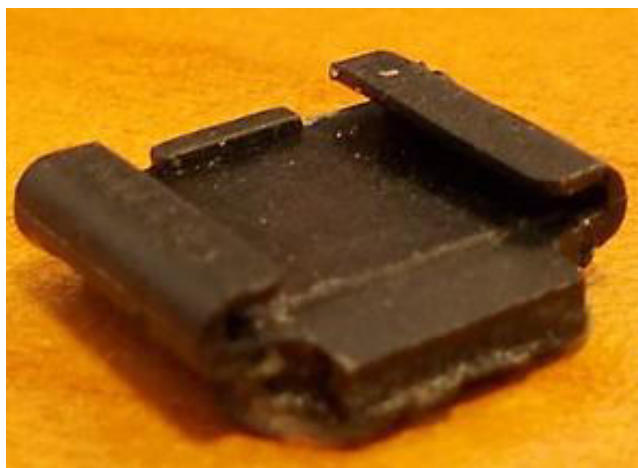


Рисунок 1 – Клипса производства фирмы «*Bruel&Kjaer*»

Чтобы обеспечить реализацию подобного крепления собственными силами, мы приняли решение о проведении эксперимента по определению возможности применения фиксаторов разработанной конструкции, выбора технологии и материала печати на 3D-принтере. Оценка параметров фиксатора и его пригодности к использованию проводилась на основании анализа и сопоставления графиков-зависимостей измеряемого ускорения от частоты вибрации. Пример графика-зависимости приведен на рисунке 2.

Как мы наблюдаем на графике, недостатки конструкции при изготовлении первого варианта фиксатора проявились в искажении измеряемого воздействия вибрации. Небольшой люфт в месте стыковки между акселерометром и фиксатором создал условия для внесения искажений в измеряемые параметры. Возникла необходимость проведения исследований для выбора оптимальной модели фиксатора с точки зрения простоты конструкции для печати и соответствия технических параметров требуемым. Для этого далее был разработан технический процесс изготовления и выполнено несколько образцов фиксаторов для проведения испытаний на электродинамическом стенде.

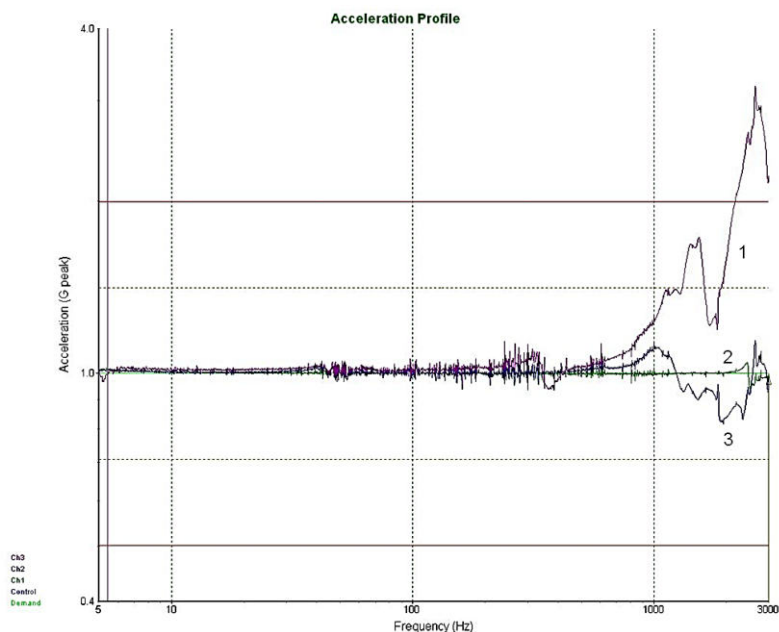


Рисунок 2 – Пример зависимости для исследования фиксаторов от 5 Гц до 3 кГц
(1 – датчик управляющий, 2 – стандартный фиксатор,
3 – экспериментальный фиксатор)

2 Технический процесс изготовления фиксаторов для датчика акселерометра типа 4507 и 4508 с помощью технологии FDM печати

При подготовке и выполнении процесса изготовления фиксаторов по технологии FDM печати определено оборудование и расходные материалы; установлена необходимая модификация и проведена калибровка принтера; создана трехмерная модель фиксатора; определены настройки для печати; созданы и загружены в память принтера исполняемые файлы; произведена печать фиксатора.

Используемая для изготовления фиксаторов технология 3D-печати – FDM (*Fused Deposition Modeling*) [3] основана на послойном выращивании изделия из предварительно расплавленной пластиковой нити. С учетом размеров фиксатора применяется метод микропечати.

В качестве печатающего оборудования применен 3D-принтер с FDM технологией 3D-печати, толщиной слоя 0,05–0,3 мм; поддерживаемые виды пластика: PLA, ABS, PETG; температура нагрева стола: 60–110°C; температура печати до 260°C; точность позиционирования: 0,01 мм по осям XY и 0,002 мм по оси Z. Для калибровки и измерения исходной детали использовался штангенциркуль.

В качестве расходных материалов применены:

- сопло производителя «TriangleLabs» диаметром 0,15 мм (целесообразно использовать сопло для печати слоев 0,03; 0,05 или 0,08 мм, что является стандартом печати таких размеров печатной модели и кратности ширины стенок модели к высоте слоя);

- пластик для 3D-печати (целесообразно использовать PETG из-за характеристик долговечности, твердости и упругости, например, пластик от производителя «Bestfilament», из-за минимального коэффициента усадки пластика);

- клей для *FDM* печати, клей спрей для 3D-печати;
- набор щупов для калибровки зазора между соплом и столом.

При подготовке к печати установлено сопло 0,15 мм, произведена калибровка стола под слой 0,05 мм и нанесен клей для печати на стол (тонким слоем).

Трехмерные модели фиксаторов (рисунок 3) с требуемыми размерами для вибродатчика типа 4507 и 4508 (рисунок 4) созданы в программе *Fusion 360*. Создание трехмерной модели возможно также в других системах автоматического проектирования (САПР), таких как *AutoCAD*, *SolidWorks*, *Компас-3D* и другие.

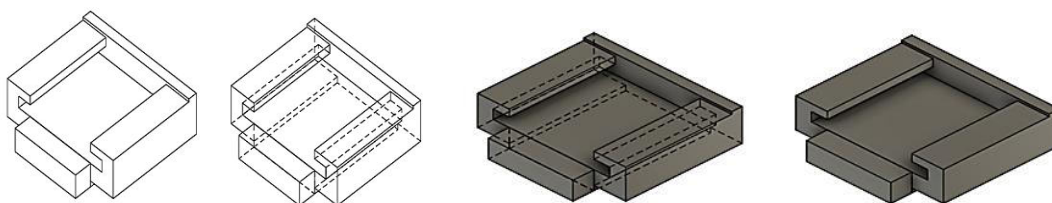


Рисунок 3 – Трехмерная проекция фиксатора

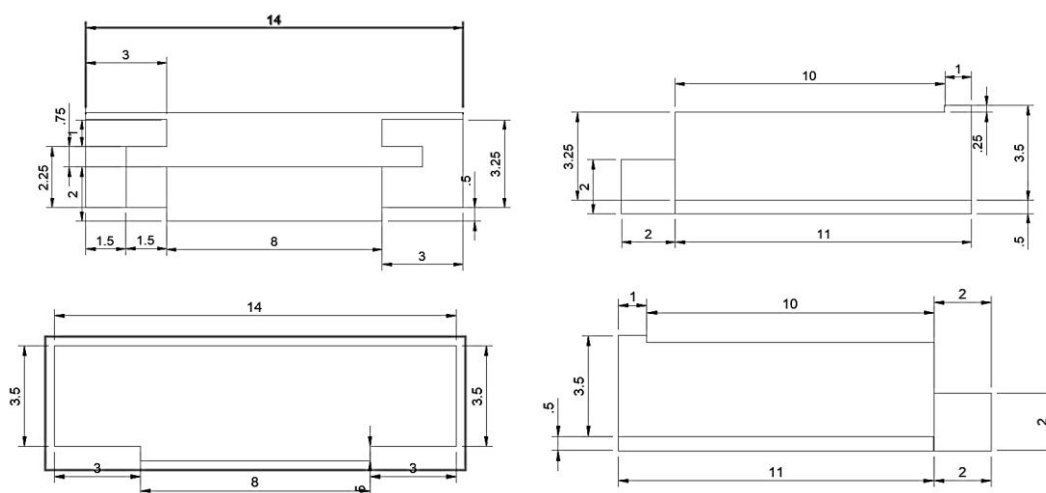
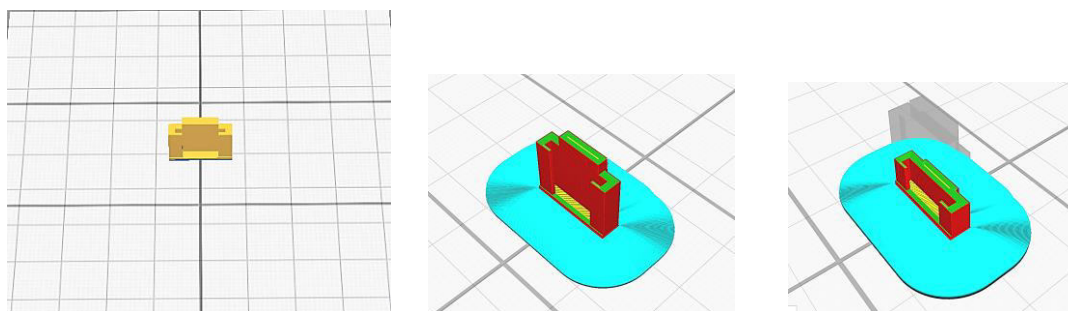


Рисунок 4 – Двумерная проекция фиксатора с указанием размеров

Далее подготовлен с использованием специальной программы *Cura* и загружен в 3D-принтер исполняемый файл (настройки: высота слоя – 0,05 мм; высота первого слоя – 0,08 мм; ширина линии – 0,15 мм; плотность заполнения – 100%; температура стола – 70-75°C; температура сопла 215-220°C; скорость – 10 мм/с; откат – 1,5 мм; поднятие оси при откате – да; скорость вентилятора – 100%; тип прилипания к столу – кайма 8 мм).

Печать модели осуществлялась вертикально, чтобы не использовать поддержки при печати (рисунок 5).



а – постановка модели; б – проекция пути сопла; в – внутреннее заполнение

Рисунок 5 – Печать модели

После завершения печати удалена вспомогательная кайма и получен фиксатор, представленный на рисунке 6.



Рисунок 6 – Готовое изделие

3 Технический процесс изготовления фиксаторов для датчика акселерометра типа 4507 и 4508 с помощью технологии LCD печати

При подготовке и выполнении процесса изготовления фиксаторов по технологии LCD печати (как и в случае FDM печати) [4], определяются оборудование и расходные материалы, устанавливаются необходимые модификации и калибровка принтера, создается и загружается в память принтера исполняемый файл и производится печать фиксатора.

Вариант 3D-печати фиксаторов по LCD технологии представляет собой способ аддитивного производства моделей из жидких фотополимерных смол. Отверждение смолы происходит за счет облучения ультрафиолетовым сверхярким светодиодом, луч света проходит через LCD матрицу.

Для изготовления тестового образца использованы 3D-принтер модели *Anycubic Photon Mono 4K* и фотополимерная смола в качестве материала печати по LCD технологии. Основные параметры принтера: область печати 132x80x165 мм; скорость 60 мм/ч; толщина слоя 10 мкм; точность по оси Z 0,01 мм; тип матрицы *LCD Mono* с диагональю 6,23 дюйма и разрешением 4K; длина УФ-волны 405 нм; разрешение по оси XY 35 мкм; коэффициент пропускания света 7%; коэффициент контрастности 400:1; источник света: параллельная матрица; плотность световой мощности 3500 – 4000 мкВт/см².

Для промывки модели от излишков фотополимерной смолы использованы промывочная станция модели *Anycubic Wash and Cure 2.0*, а также полимеризационная камера для окончательного застывания фотополимерной смолы на поверхности модели. Характеристика полимеризационной камеры определяется характеристиками смолы (например, длина УФ-волны 405 нм).

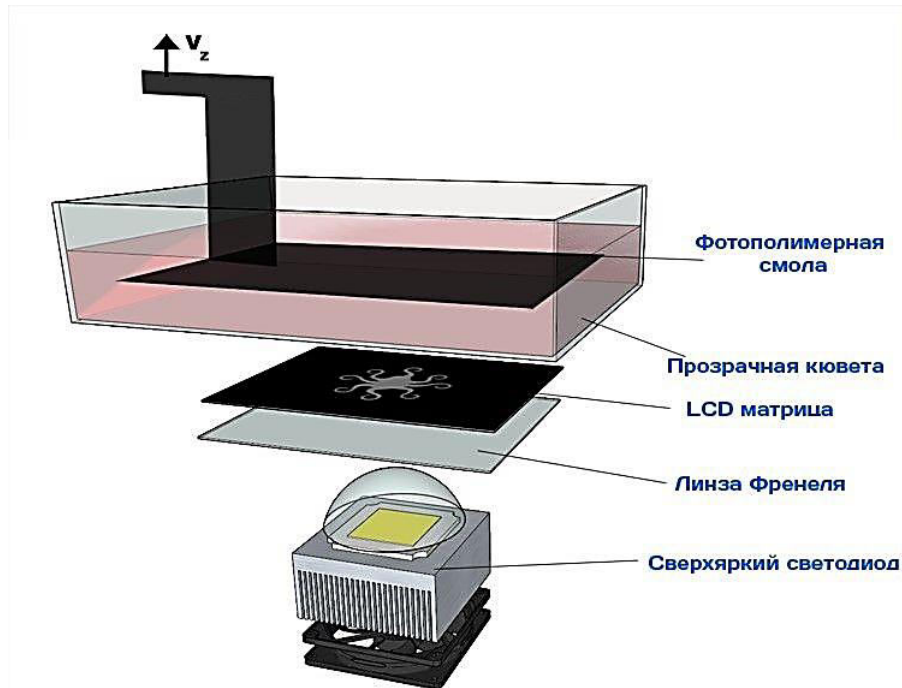


Рисунок 7 – Печать изделия способом, основанным на *LCD* технологии

Расходные материалы

- фотополимерная смола (недостаток – токсичность, работа до засветки под ультрафиолетовыми лампами возможна только в перчатках, маске и очках); основные параметры смолы – жесткость: 79 D по Шору, вязкость: 552 МПа·с, плотность в жидком (твердом) состоянии: 1,1 (1,184) г/см³, усадка: 7.1%, прочность на растяжение: 23,4 Мпа, удлинение при разрыве: 14,2%;

- изопропиловый спирт 95-99%;

- средства индивидуальной защиты: резиновые перчатки, маска для лица; защитные очки.

Трехмерная модель создается в системах автоматического проектирования (САПР), таких, как *AutoCAD*, *SolidWorks*, Компас-3D, *Fusion 360*, а исполняемый файл – в *Photon WorkShop*, *Cura*, *ChiTuBox* и т.д.

Трехмерная модель и двухмерная проекция фиксатора для вибродатчика с указанием размеров приведены на рисунке 3 и 4 соответственно.

В нашем примере исполняемый файл для 3D-принтера подготовлен с помощью программы *Chitubox*. Печатать модель целесообразно вертикально, чтобы не использовать поддержки при печати (рисунок 8).

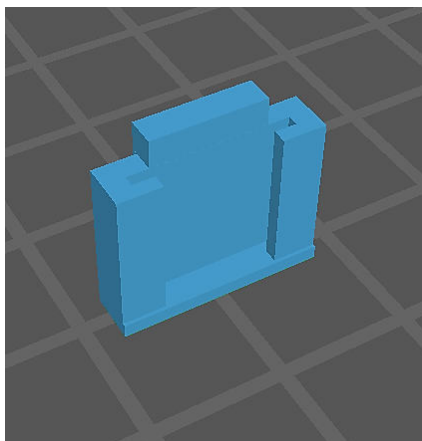


Рисунок 8 – Фиксатор, полученный способом *LCD*-печати

После печати необходимо снять с печатного столика модель с помощью металлического шпателя, аккуратно промыть в изопропиловом спирте, засветить под ультрафиолетовой лампой.

Следует учитывать, что для увеличения параметров прочности и износостойкости изделий, целесообразнее использовать композитные смолы.

4 Проведение экспериментальных исследований с целью выбора оптимального варианта изготовления фиксатора вибродатчика

4.1 Определение критериев качества к фиксаторам вибродатчиков

После изготовления пробной партии фиксаторов для оценки параметров, а также выбора приемлемой технологии изготовления и отработки вариантов конструкции были проведены исследовательские испытания. По результатам испытаний вносились изменения в модели для совершенствования конструкции. При этом определены следующие критерии качества фиксаторов:

- фиксатор должен плотно устанавливаться на датчик и не иметь люфтов, так как любой люфт, который позволяет вибродатчику двигаться или смещаться при установке в фиксатор, приведет к искажению измеряемых параметров вибрации при испытаниях;

- материал и конструкция фиксаторов должны выдерживать воздействие вибрации (быть стойкими к воздействию вибрации);

- материал фиксаторов должен обеспечивать достаточную адгезию для установки и фиксации с помощью циакриновых клеев.

Для эксперимента в лаборатории были подготовлены 4 образца фиксаторов.

Целью эксперимента является проверка отсутствия возможного внесения фиксатором дополнительной погрешности в результат измерения параметров вибрации из-за несовершенства конструкции. Изображения и описания установочных приспособлений приведены в таблице 2.

Для проведения эксперимента вибродатчики устанавливались на фиксаторы, которые приклеивались на стол электродинамического вибростенда с помощью клея на основе циакрина. Размещение датчиков показано на рисунке 9.

Т а б л и ц а 2 – Описание вариантов изготовленных фиксаторов

| Номер фиксатора | Изображение фиксатора | Краткое описание фиксатора |
|-----------------|---|--|
| 1 |  | <p>Клипсы, изготовленные с использованием технологии лазерной стереолитографии (<i>LCD</i>). Размеры крепежей соответствуют крепежам с клипс фирмы «<i>Bruel&Kjaer</i>». Точность печати 50 мкм. Постановка модели во время печати вертикальная.</p> |
| 2 |  | <p>Клипсы, изготовленные с использование технологии <i>FDM</i> моделирования методом послойного наплавления. Размеры крепежей учитывают усадку пластика. Точность 50 мкм. Постановка модели во время печати вертикальная.</p> |
| 3 |  | <p>Клипсы, изготовленные с использование технологии <i>FDM</i> моделирования методом послойного наплавления. Размеры крепежей не соответствуют крепежам с клипс фирмы «<i>Bruel&Kjaer</i>»</p> |
| 4 |  | <p>Фиксаторы, закупленные у официальных поставщиков и применяемые в настоящее время фирмой «<i>Bruel&Kjaer</i>»</p> |



Рисунок 9 – Установка вибродатчиков на стенд (справа показана нумерация)

Один из четырех датчиков определялся управляющим, на основе его данных осуществлялось управление и регулирование испытательного режима. Остальные датчики использовались в режиме измерительных вибродатчиков (назначение вибродатчика измерительным или управляющим определялось оператором в настройках системы управления вибростендами).

На рисунке 9 приведена нумерация датчиков. Управляющий вибродатчик, обозначен «У», измерительный вибродатчик обозначен «К». В качестве управляющего вибродатчика был выбран датчик номер 4 с установленным на него фиксатором, закупленным у официального поставщика. Вибродатчики 1, 2, 3 установлены на экспериментальные фиксаторы.

4.2 Оборудование и режим испытаний

Для проведения испытаний использовался электродинамический вибростенд *TIRA TV59327/440AIT* с контроллером управления виброиспытаниями *VR-8500*. В качестве датчиков измерения вибрации использовались пьезоэлектрические акселерометры 4507001 производства фирмы «*Bruel&Kjaer*». Испытательный режим был выбран с целью оценки проявления резонансных явлений в диапазоне от 5 Гц до 2500 Гц с амплитудой виброускорения $9,8 \text{ м/с}^2$ ($1g$), а также для оценки внесения искажений в измеряемые параметры вибрации.

4.3 Результаты исследовательских испытаний

На рисунке 10 приведены результаты измерений параметров вибрации в логарифмическом масштабе по оси абсцисс (ось X).

Так как графики смещены в правую область, целесообразно далее результаты измерений представлять в линейном масштабе (рисунок 11) по оси абсцисс (ось X).

На рисунке 11 мы видим, что из 3 датчиков (1, 2, 3) вибродатчик 1 наиболее близок к номинальному значению испытательного режима с незначительными отклонениями и только после 2000 Гц наблюдается падение амплитуды виброускорения приблизительно на 20%. Кривая вибродатчика 2 (синяя) после 700 Гц показывает падение амплитуды виброускорения приблизительно на 20%. Кривая вибродатчика 3 имеет резонанс на частоте 1297 Гц, далее происходит падение амплитуды виброускорения без возвращения к номинальному значению. Кривую датчика 4 контроллер управления удерживает вблизи номинального значения в соответствии с испытательным режимом.

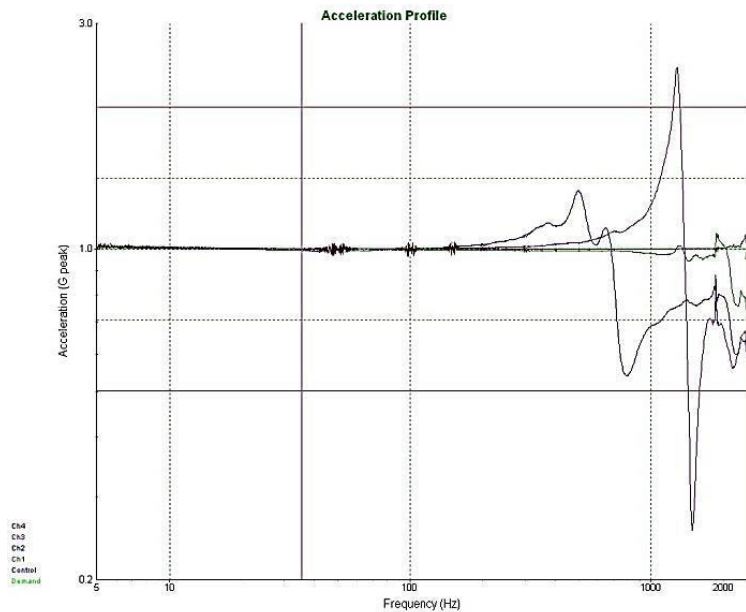


Рисунок 10 – Результаты измерений параметров вибрации (4-й вибродатчик использовался как управляющий, вибродатчики 1, 2 и 3 – как измерительные)

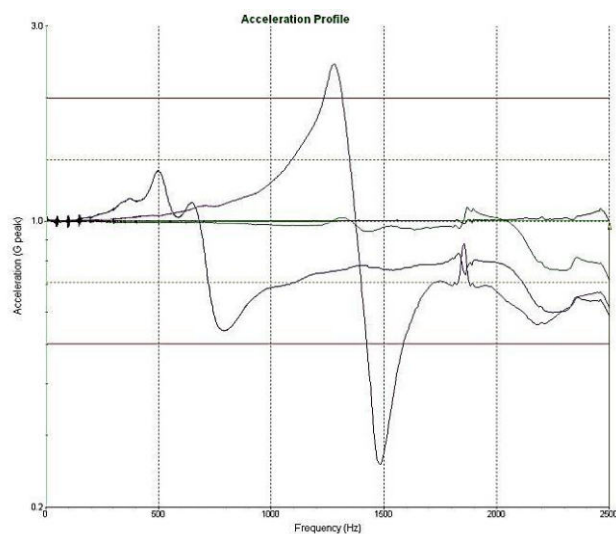


Рисунок 11 – Результаты измерений параметров вибрации в линейном масштабе (вибродатчик 1 – зеленый график, вибродатчик 2 – синий график, вибродатчик 3 – фиолетовый график, вибродатчик 4 – коричневый график)

Далее в качестве управляющего был выбран «худший» вибродатчик 3 (рисунок 12) для оценки изменения результатов других датчиков.

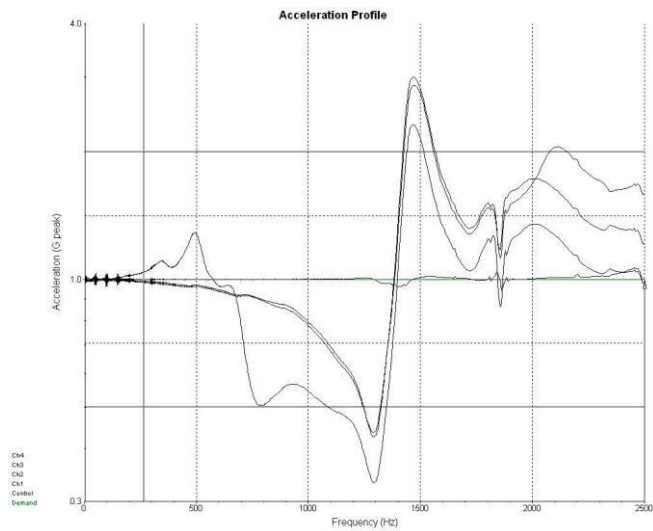


Рисунок 12 – График при управлении вибродатчиком 3

Все датчики показали одинаково плохой результат.

Далее в качестве управляющего выбрали «лучший» вибродатчик 1, в результате чего получили график (рисунок 13), сходный с приведенным на рисунке 11.

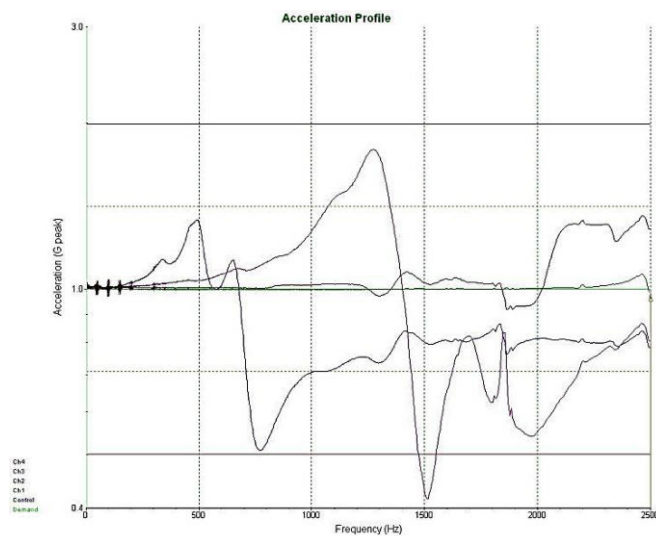


Рисунок 13 – График при управлении вибродатчиком 1

Выберем в качестве управляющего вибродатчик 2. Датчик измеряет параметры с искажением. Это видно на рисунке 14 (линия синего цвета).

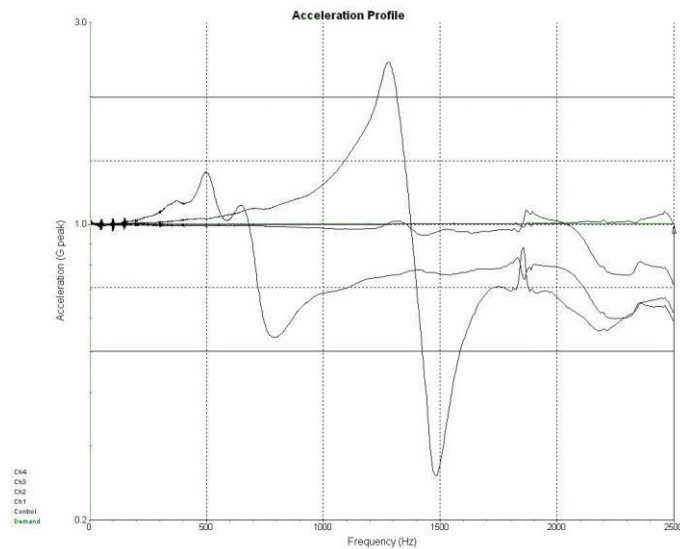


Рисунок 14 – График при управлении вибродатчиком 2

Наблюдается небольшой рост амплитуды с пиком около 500 Гц, а далее после 700 Гц наблюдается падение амплитуды от 20% до 40% ниже номинального значения.

На рисунке 15 представлены результаты, полученные при назначении управляющим датчика, который выдает в систему искаженные результаты. Следует отметить, что искажение измерений может быть вызвано несовершенством конструкции, люфтами. Система управления компенсирует и выравнивает искаженные результаты, но это приводит к недостоверности общей картины, и мы видим компенсацию в форме инверсии по результатам датчиков 1, 3, 4.

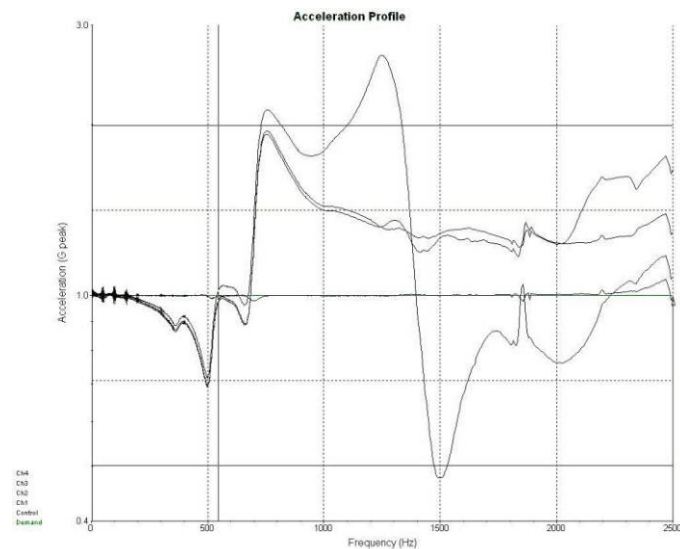


Рисунок 15 – График с вибродатчиком, вносящим искажения в измерения

На рисунке 16 (линия синего цвета) мы видим небольшой (около 40%) рост на частоте около 500 Гц,

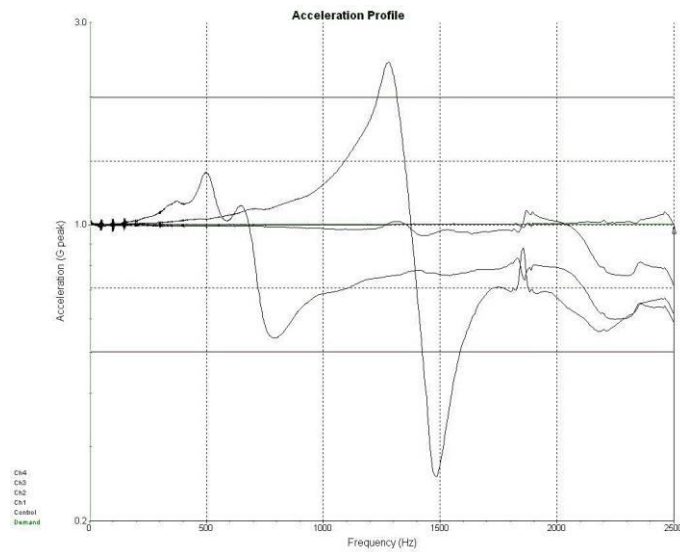


Рисунок 16 – Результаты измерений с искажениями на частоте 500 Гц (линия синего цвета)

На рисунке 17 отражена компенсация значения системой управления и видно синхронное падение амплитуды всех трех датчиков 1, 3, 4 на частоте 500 Гц. Далее, начиная с частоты 700 Гц на рисунке 17 мы наблюдаем рост амплитуды всех трех датчиков от 20% до 40% без возврата к номинальному значению. Графики датчиков 1, 3, 4 похожи на инверсную кривую датчика 2 на рисунке 14 (линия синего цвета). При этом следует обратить внимание на следующее: мы наблюдаем, как система управления компенсирует падение амплитуды управляющего датчика 2, реагируя на рост значений амплитуды датчиков 1, 3, 4, но при этом результаты измерений датчика 3 ухудшаются еще больше из-за собственных вносимых искажений, и мы видим наложение нескольких колебаний друг на друга.

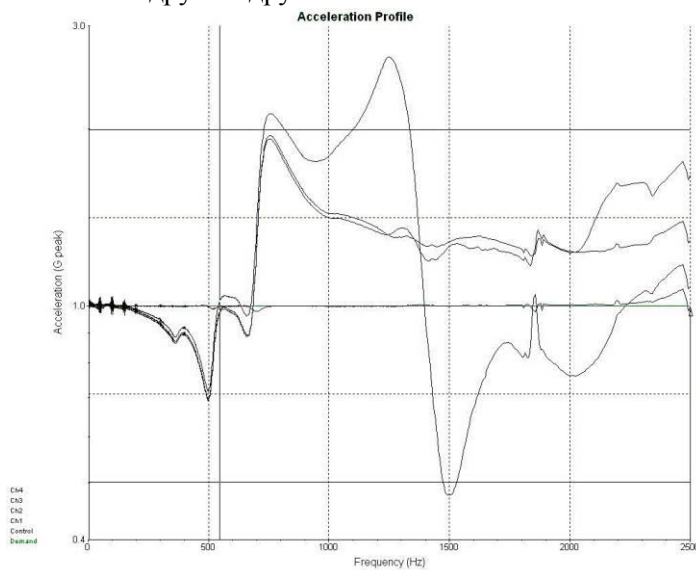


Рисунок 17 – Компенсация значений от вибродатчиков системой управления

На рисунке 18 приведены графики для отдельных датчиков относительно управляющего сигнала.

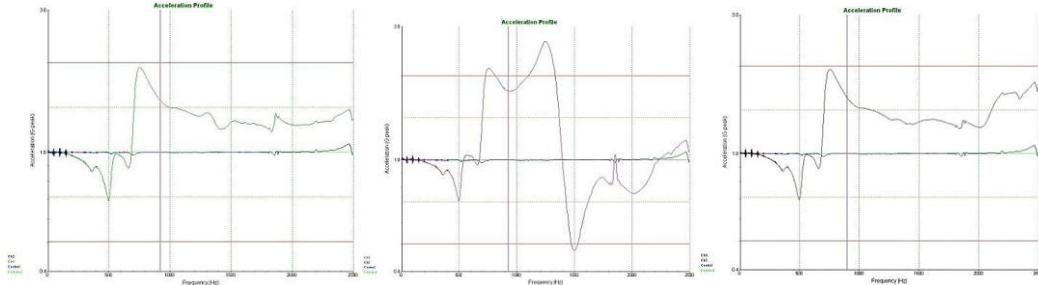


Рисунок 18 – Результаты измерений для отдельных датчиков

На рисунке 19 приведены результаты измерений при переустановке датчиков 1 и 3. Для исключения влияния места установки датчиков датчики 1 и 3 были поменяны местами друг с другом. Датчик 1 с клипсой был установлен на место датчика 3, а датчик 3 с клипсой был установлен на место датчика 1.

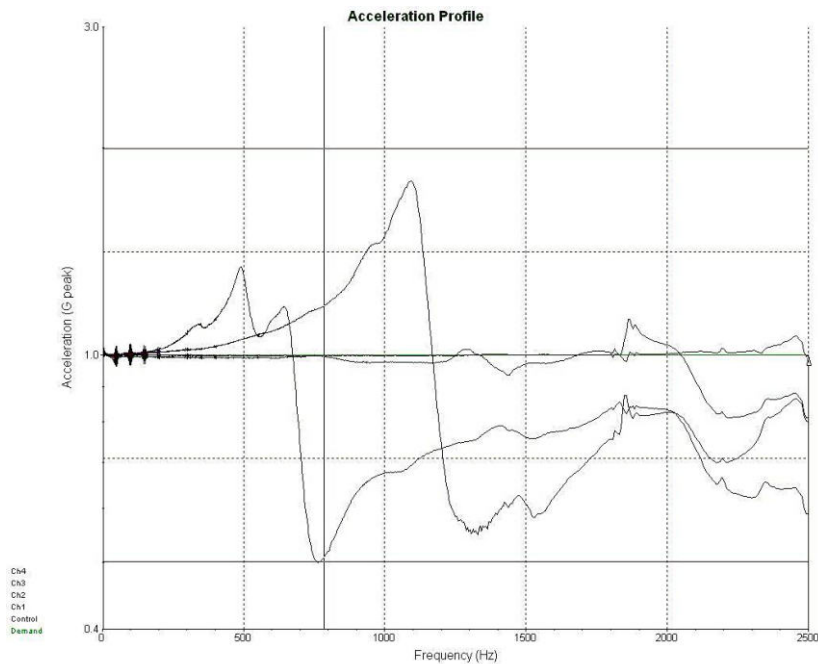


Рисунок 19 – Результаты измерений при переустановке датчиков 1 и 3

На рисунке 21 представлены результаты измерений, полученные при размещении вибродатчиков 1 и 3 в позициях, указанных на рисунке 20.

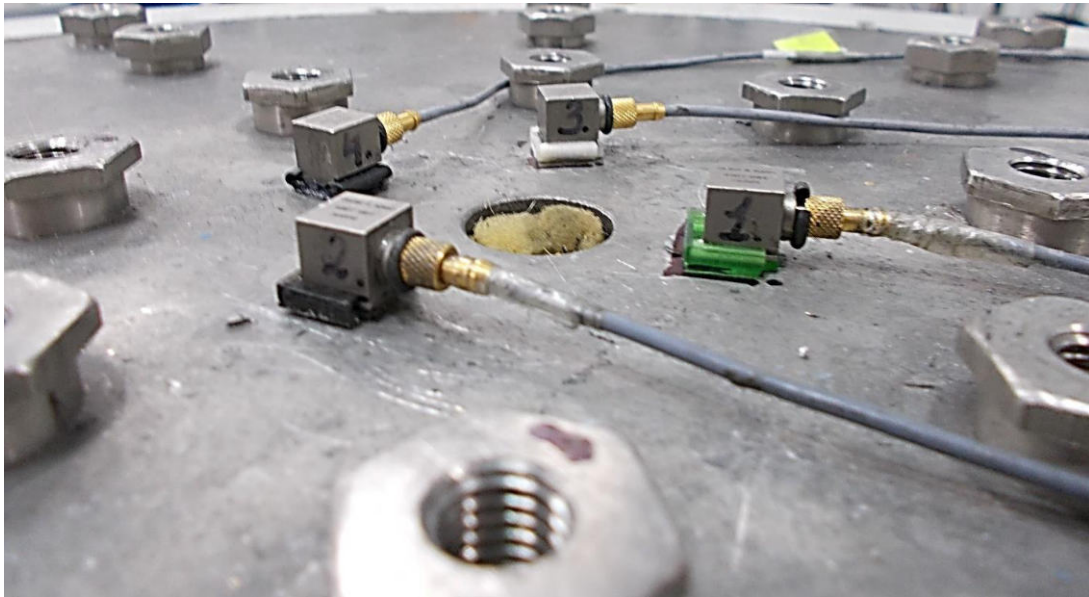


Рисунок 20 – Расположение вибродатчиков

Мы получили график, сходный с приведенным на рисунке 14. Видно, что сигналы имеют сходную форму, хотя есть незначительные отличия, в частности амплитуда виброускорения датчика 3 меньше и пиковая частота сместилась до точки 1100 Гц, но формы сигналов датчиков 1, 2, 3, 4 на рисунке 21 сходны с формами сигналов, полученных при расположении датчиков в соответствии с рисунком 9.

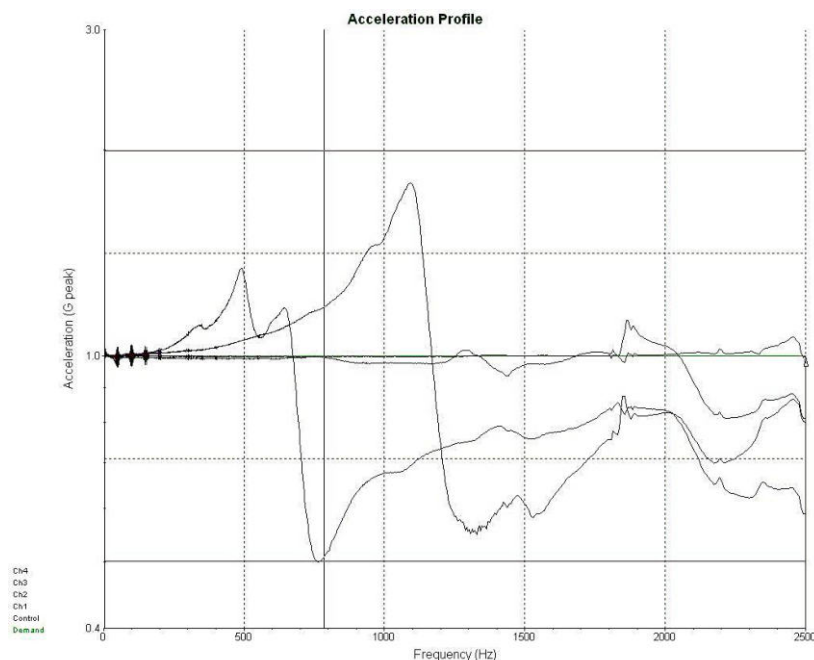


Рисунок 21 – Результаты измерений для размещения вибродатчиков согласно рисунку 20

Далее было изготовлено несколько образцов методом печати FDM для уточнения отдельных размеров модели клипсы, существенно влияющих на результат измерений параметров вибрации, и проведены повторные исследовательские испытания совместно с образцом, изготовленным по технологии *LCD*.

На следующих рисунках приведены вариации размеров, влияющих на результаты измерений.

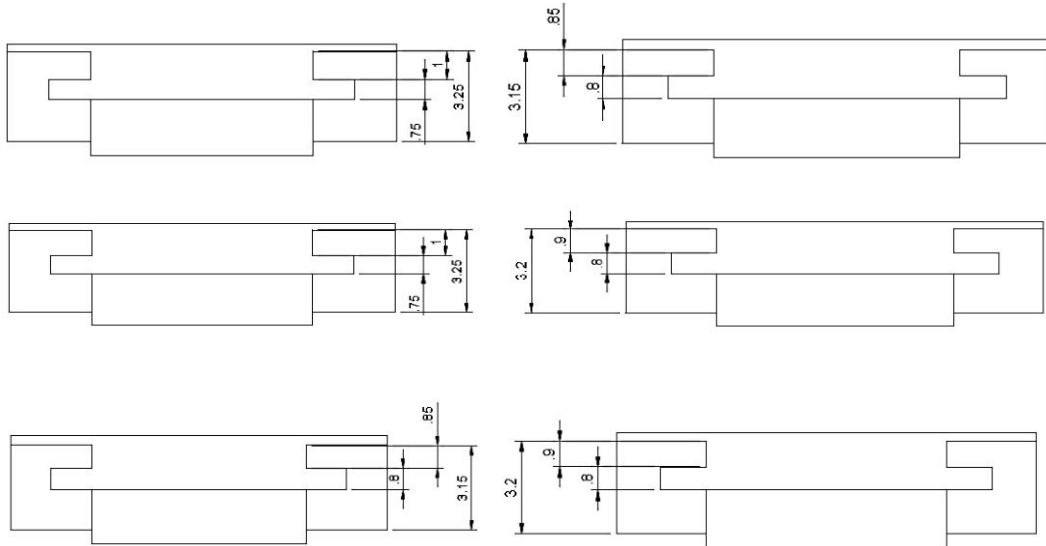


Рисунок 22 – Размеры клипсы, влияющие на результат измерений параметров вибрации

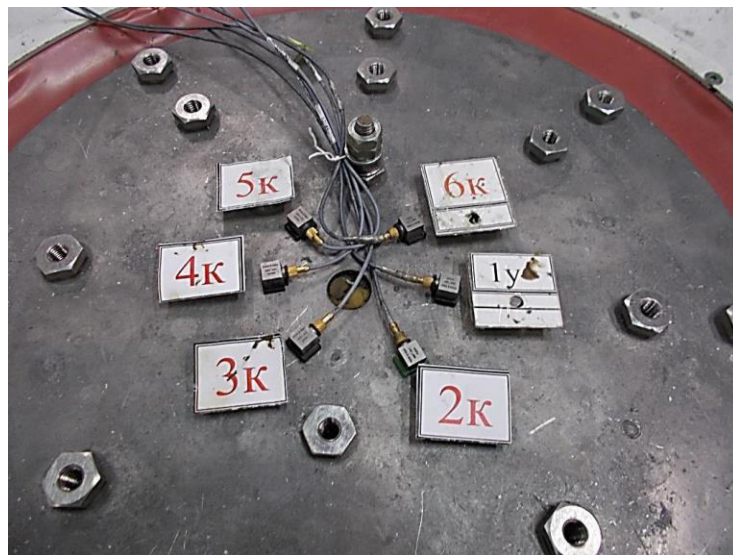


Рисунок 23 – Установка вибродатчиков

На рисунке 23 показано размещение вибродатчиков. Датчик 1 – оригинальный датчик, закупленный у официального поставщика. Датчик 2 – датчик, изготовленный по технологии *LCD*, хорошо проявивший на первом этапе исследования. Датчики 3, 4,

5, 6 – датчики, изготовленные по технологии *FDM* с небольшими вариациями отдельных размеров для выбора наилучшей конструкции, которая обеспечивала бы удобную установку датчика в клипсу, четкую фиксацию датчика и наименьшие люфты, а также минимальную погрешность при проведении измерений.

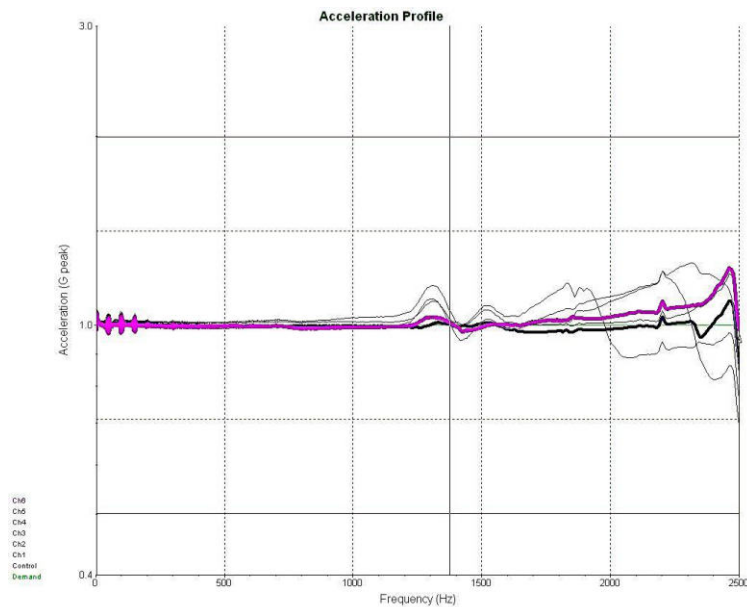


Рисунок 24 – Результаты измерений параметров вибрации

На рисунке 24 показаны результаты измерений параметров вибрации, где датчик 2 (линия синего цвета) – хорошо себя проявивший датчик, изготовленный по технологии *LCD*, датчик 6 (линия розового цвета) – датчик, имеющий наименьшую погрешность по сравнению с другими датчиками, изготовленными по технологии *FDM*. Оценка вариантов исполнения клипс приведена в таблице 3.

Т а б л и ц а 3 – Оценка вариантов исполнения фиксаторов

| № (рис.23) | Технология изготовления | Регулируемые размеры, мм (рисунок 22) | Направление пути сопла 3-D принтера | Погрешность измерений | Оценка |
|------------|-------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|-----------------------|--------|
| 1 | Оригинальный образец | 0,75 ; 1 | - | - | - |
| 2 | LCD | 0,75 ; 1 | вертикальное | 5% | В |
| 3 | FDM | 0,8 ; 0,9 | горизонтальное | 10% | С |
| 4 | FDM | 0,8 ; 0,9 | вертикальное | 15% | Н |
| 5 | FDM | 0,8 ; 0,85 | вертикальное | 25% | Н |
| 6 | FDM | 0,8 ; 0,85 | горизонтальное | 5% | В |

Обозначения:
В – высокое удовлетворение критерию;
С – среднее удовлетворение критерию;
Н – низкое удовлетворение критерию [1].

Выводы

По результатам исследований образцов фиксаторов для крепления вибродатчиков можно сделать следующие заключения.

а) наилучшим вариантом, оказывающим минимальное влияние на достоверность проводимых измерений, является фиксатор, изготовленный с помощью технологии *LCD* печати (таблица 2, номер 1);

б) технология *LCD* печати относительно *FDM* технологии позволяет получать изделие с более точными характеристиками, но имеет недостатки, связанные с обеспечением безопасности при изготовлении, поскольку требуется использование средств индивидуальной защиты;

в) изделие, полученное с использованием технологии *LCD* печати, требует более аккуратного использования, поскольку обладает большей хрупкостью относительно изготовленного по *FDM* технологии;

г) при проведении исследований выявлено, что устройства быстрой установки датчиков измерения вибрации могут вносить дополнительные погрешности в измерение параметров вибрации и оказывать влияние на правильность передачи вибрационного воздействия. Погрешности могут зависеть от многих факторов – варианта конструкции, применяемых материалов, технологии изготовления и т.д.;

д) для изделий, изготовленных как по технологии *LCD*, так и по технологии *FDM*, после изготовления небольших партий фиксаторов необходима проверка повторяемости по конструкции и по результатам измерений параметров вибрации.

Литература

1 ГОСТ ИСО 5348-2002. Межгосударственный стандарт. Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров.

2 Дэссинг О. Испытание конструкций. Популярное издание – М.: Брюль и Кьер, 1989. – 118 с.

3 Документация FDM (Fused Deposition Modeling). FDM технология <https://3dtool.ru/stati/fdm-tekhnologiya-kak-eto-rabotaet/> <https://3dtoday.ru/blogs/kwt-8/mikro-3d-pechat-fdm-na-konchike-pintseta>

4 Документация LCD. Технология 3D печати SLA <https://3dtool.ru/stati/sla-tekhnologiya-kak-rabotaet-3d-pechat-sla/>, https://i3d.ru/blog/dlya_mozayki/v-chem-otlichie-sla-dlp-i-lcd/

Кургузиков Роман Олегович – начальник лаборатории, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: организация и проведение испытаний, исследование в области защиты изделий от дестабилизирующих внешних воздействующих факторов, исследование в области оценки результатов испытаний и экспериментальной обработки изделий.

Email: ginirai@mail.ru

Курчанов Игорь Александрович – кандидат технических наук, начальник отдела, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования в области помехоустойчивости и электромагнитной совместимости разрабатываемых изделий, исследование восприимчивости при испытаниях изделий на климатические, механические и вакуумные воздействия, вопросы предсказательного обслуживания испытательного оборудования.

Email: ikurchanov@yandex.ru

Орлов Федор Леонидович – начальник отдела, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: стандартизация и автоматизация технологических процессов при организации производства и испытаний изделий, цифровизация, мониторинг технического состояния оборудования, управление рисками.

Email: mcknife@rambler.ru

Гусейнов Тимур Заурович – старший инженер, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: вопросы создания трехмерных моделей, исследования в области аддитивных технологий, 3D-печати.

Email: simik342@gmail.com

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

ON THE INTRODUCTION OF ADDITIVE TECHNOLOGIES TO ENSURE IMPORT INDEPENDENCE IN CONSUMABLES IN THE MANUFACTURE OF VIBRATION SENSOR CLAMPS FOR MECHANICAL TESTING OF DEVELOPED PRODUCTS

The article discusses options for solving the issues of ensuring import independence in terms of consumables through the use of modern additive technologies in the manufacture of clamps for fixing vibration sensors of the mechanical stand control system. Studies are being conducted on the use of various methods of printing on a 3D printer, the use of various materials for printing, as well as various options for the design of fixators are being considered and the cost and feasibility of manufacturing by the company's own forces are estimated.

Key words: vibration sensors, mechanical testing, ensuring import independence, vibration sensors clamps, consumables, additive technologies, 3D printing, 3D modeling.

Kurguzikov Roman Olegovich - Head of the Testing Laboratory, JSC "Russian Institute of Radionavigation and Time", St. Petersburg.

Research interests: organization and conduct of tests, research in the field of protection of products from destabilizing external factors, research in the field of evaluation of test results and experimental development of products.

Kurchanov Igor Aleksandrovich - Candidate of Technical Sciences, Head of Department, JSC "Russian Institute of Radionavigation and Time", St. Petersburg.

Research interests: research in the field of noise immunity and electromagnetic compatibility of developed products, research of susceptibility during testing of products for climatic, mechanical and vacuum effects, issues of predictive maintenance of non-test equipment.

Orlov Fyodor Leonidovich - Head of Department, JSC "Russian Institute of Radionavigation and Time", St. Petersburg.

Research interests: standardization and automation of technological processes in the organization of production and testing of products, digitalization, monitoring of the technical condition of equipment, risk management.

Guseynov Timur Zaurovich - Senior Engineer, JSC "Russian Institute of Radionavigation of Time", St. Petersburg.

Research interests: creation of three-dimensional models, research in the field of additive technologies, 3D printing.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗРАБОТКИ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ МАТЕРИАЛОВ

Курчанов И.А., Лысенко А.Е., Лебедев В.А.

Проведен краткий обзор современного состояния и перспектив разработки радиопоглощающих материалов, рассмотрена классификация радиопоглощающих материалов, оценены результаты сравнительных экспериментов трех образцов радиопоглощающих материалов, наносимых в виде краски, проведен анализ некоторых характеристик радиопоглощения, а также рассмотрены возможные пути развития радиопоглощающих материалов

Ключевые слова: радиопоглощающие материалы, радиопоглощающие покрытия, поглощающая способность, электромагнитные излучения, противолокационная маскировка, отраженное излучение.

Введение

Функционирование любых радиоэлектронных средств связано с созданием в окружающем пространстве электромагнитных полей, которые могут оказывать негативное влияние на другие рядом расположенные устройства, вызывая сбои и нарушения в их работе. Решение вопросов электромагнитной совместимости (ЭМС) ведется различными путями – принятие специальных мер в процессе разработки конструкций изделий, экранирование жгутов линий связи, проводов электропитания и элементов на печатных платах, грамотная трассировка токоведущих проводников, использование специальных фильтрующих элементов и многое другое. Одним из направлений для решения проблем ЭМС является применение специальных радиопоглощающих материалов (РПМ) и покрытий (РПП), наносимых на поверхность или элементы изделия.

К РПМ и РПП относят такие материалы, которые обеспечивают изменение (уменьшение) коэффициента отражения в рабочем диапазоне частот. Это могут быть, например, материалы подобные рассмотренным в [1], представляющие собой полимерные радиопоглощающие лакокрасочные материалы, функционирующие на частотах до 40 ГГц, которые наносят на поверхность разрабатываемых изделий.

Свойства поглощения РПМ основаны на их способности преобразовывать электромагнитные волны в тепло. Данный процесс поглощения сопровождается явлениями поглощения, рассеяния, интерференции и дифракции радиоволн, в конечном счете сводясь к переходу энергии излучения в тепловую энергию. Область применения РПМ в современных разработках достаточно широка. Значительное внимание вопросу применения РПМ уделяется при проектировании изделий и оборудования для государственных служб (обеспечение противолокационной маскировки объектов; организация испытательных безэховых камер, испытательных стендов; в радиотехническом оборудовании; в высокочастотных системах связи и т.д.). Благодаря особенностям своей структуры радиопоглощающие материалы создаются в разных конфигурациях и размерах, что позволяет монтировать их на любые поверхности.

1 Классификация радиопоглощающих материалов

Универсальной классификации радиопоглощающих материалов не существует. Один из наиболее полных вариантов классификации РПМ описан в статье [2].

РПМ разделяют:

- по принципу действия – на резонансные или интерференционные; нерезонансные; рассеивающие; комбинированные; метаматериалы;

- по типу конструкции – на слоистые (одно- и многослойные), состоящие из твердого или гибкого слоя (слоев) РПМ; с включением неоднородностей; тканевые (состоящие из внедренного в тканевый материал РПМ); на основе жидких растворов; в виде краски или эмали.

Резонансные материалы наносятся на отражающие поверхности объекта маскировки. Толщина РПМ соответствует четверти длины волны излучения радиолокационной станции (РЛС). Падающая энергия высокочастотного излучения отражается от внешней и внутренней поверхностей РПМ с образованием интерференционной картины нейтрализации исходной волны. В результате происходит подавление падающего излучения. Отклонение ожидаемой частоты излучения от расчётной приводит к ухудшению характеристик поглощения, поэтому данный тип РПМ эффективен при маскировке от излучения РЛС, работающей на стандартной, неизменяемой моночастоте [3]. На рисунке 1 схематически изображены пути этих волн [4].

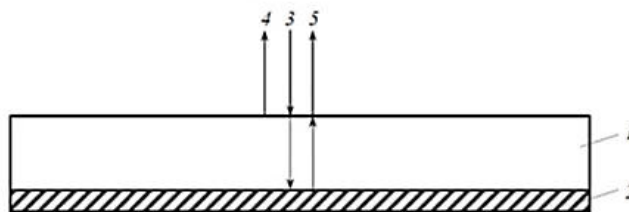


Рисунок 1 – Пути падающей и отраженных волн:

1 – РПМ, 2 – металлический экран, 3 – падающая волна, 4 – волна, отраженная от внешней поверхности РПМ, 5 – волна, прошедшая в РПМ, отраженная от металлического экрана и вышедшая наружу

В случае, когда волны, отраженные от поверхностей электропроводящей пленки и металлической основы, находятся в противофазе и одинаковы по амплитуде, происходит их взаимная компенсация. Создание разности фаз в полволны осуществляют нанесением $\lambda/4$ слоя диэлектрика, при этом его толщина определяется по формуле

$$l = \frac{\lambda}{4} = \frac{\lambda_0}{4\sqrt{\epsilon'}}, \quad (1)$$

где λ – длина волны в материале,

λ_0 – длина волны в свободном пространстве [5].

Классическими структурами для электромагнитных РПМ являются структуры Солсбери, Яуманна и Далленбаха. РПМ Солсбери – один из самых простых и давно используемых РПМ. Он представляет собой резонансный РПМ, состоящий из одностороннего резистивного листа, располагающегося на экранированной диэлектрической подложке с низкой диэлектрической постоянной толщиной четверть длины волны.

Данный РПМ имеет узкую полосу и относительно большую толщину. В РПМ Яумана однородные резистивные листы располагаются друг над другом на расстоянии четверти длины волны (измеренной в центре исследуемого частотного диапазона), вследствие чего происходит расширение полосы поглощения по сравнению с РПМ Солсбери. Структура РПМ Далленбаха подобна предыдущим, за исключением того, что в нем используются не резистивные, а однородные многослойные диэлектрические листы, располагающиеся над экраном. Главными недостатками данных РПМ является огромная толщина многослойной структуры и узкая полоса поглощения.

Нерезонансные магнитные РПМ рассеивают энергию высокочастотного излучения по поверхности, результатом является повышение её температуры.

Многослойные РПМ основаны на поглощении многократно переотраженной электромагнитной волны внутри слоистой металл-диэлектрической структуры, причем толщина слоев принимается обычно меньше толщины скин-слоя на рабочей длине волны. Возможно создание такого материала, электрофизические характеристики которого последовательно изменяются от слоя к слою.

Как показано на рисунке 2, снижение интенсивности проникающего излучения обусловлено однократным прохождением через слой РПМ и частичным отражением. Преобразование в тепло происходит за счет потерь на электропроводность и переориентацию диполей [6].

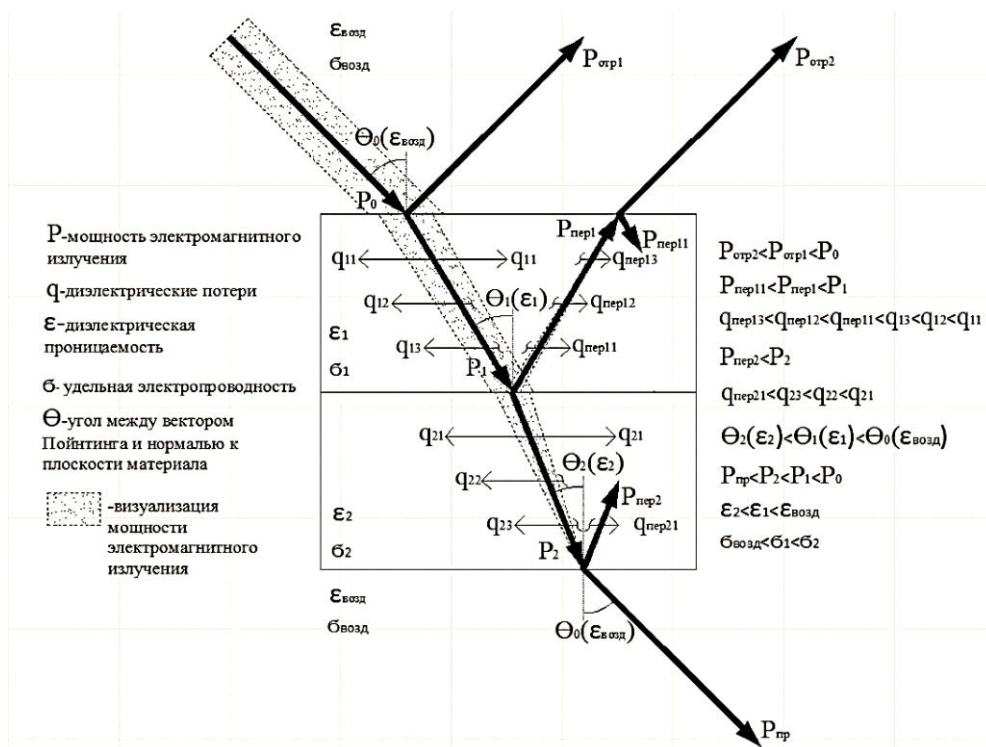


Рисунок 2 – Принцип работы экрана с потерями на электропроводность и поляризацию

Принцип работы нерезонансных РПМ основан на использовании как диэлектрических, так и магнитных потерь, последнее – за счет добавления соединений фер-

рита [2]. В некоторых случаях используется введение графита в пенополиуретановую матрицу.

Неоспоримыми преимуществами такого материала являются высокая поглощающая способность и широкополосность поглощения.

Тонкие покрытия, полученные из диэлектриков и проводников, являются узкополосными, поэтому в тех случаях, когда добавленная масса и стоимость не являются критичными, используются магнитные материалы как в резонансных РПМ, так и в нерезонансных РПМ [7].

Рассеивающие РПМ или РПМ с геометрическими неоднородностями. Такой тип РПМ представляется в виде конусов, пирамид, шахт, клиньев и других геометрических структур, преобразующих плоскую падающую волну в поверхностную, с последующим ее гашением в поверхностном диэлектрическом слое.

Кроме того, радиопоглощающие конструкции (РПК) могут быть выполнены в жесткой и гибкой форме, причем степень гибкости будет зависеть от типа связующего и от структуры самого материала.

РПМ может представлять собой панель из цельного однородного массива конусных поглотительных элементов, расположенных на плоском основании любой формы. Благодаря наполнению из магнитных нано- и микрочастиц, а также особой конусной форме такая панель обладает превосходной поглотительной способностью СВЧ-волн в частотном диапазоне от 1 до 50 ГГц, падающих под различными углами.

Кроме того, за счёт высокой температурной стойкости и теплопроводности материал способен поглощать электромагнитные волны относительно большой мощности.

Силиконовые конусные широкополосные РПМ обладают некоторыми преимуществами по сравнению с листовыми СВЧ-абсорберами, а именно: превосходная эффективность поглощения электромагнитных волн при тех же массогабаритных параметрах благодаря сложной конусной форме элементов; большая эффективность поглощения под разными углами падения электромагнитной волны; поглощение электромагнитных волн большой мощности, которое обеспечивается высокой теплопроводностью материала и большой площадью поверхности; гибкость, эластичность и мягкость материала по сравнению с листовыми продуктами. Наилучшими электродинамическими, механическими и эксплуатационными характеристиками в наземных условиях будут обладать материалы и покрытия, реализованные при использовании всех выше перечисленных способов. Т.е., это должны быть сложеннокомпонентные феррит-диэлектрические материалы с металлическим наполнителем, имеющие плавный (постепенный) переход от свободного пространства к слоям с достаточно большими значениями проницаемостей и потерь. При этом для увеличения поглощения может быть использовано резонансное поглощение энергии электромагнитного поля в отдельных слоях. В РПМ могут использоваться металлические элементы, производящие дополнительное рассеяние электромагнитных сигналов, повышающие механическую прочность и улучшающие теплоотвод. Оптимальное согласование с окружающим пространством может обеспечиваться при определенных соотношениях между значениями диэлектрической и магнитной проницаемостей. С точки зрения стабильности электрических характеристик в слоистых структурах желательны применять материалы на основе смеси металлических порошков с диэлектрическими непоглощающими смесями. Для создания широкополосных РПМ принципиально необходимо учитывать дисперсионные свойства составляющих РПМ слоев [8].

В последние годы широкое применение нашли РПМ на основе искусственных электромагнитных или частотно-избирательных поверхностей (ЧИП) с диэлектрическими и магнитодиэлектрическими потерями. Данные электромагнитные поверхности представляют собой планарную решетку периодически расположенных проводящих идентичных элементов в виде квадратных патчей или резонансных элементов. Частотная характеристика ЧИП полностью определяется геометрией поверхности одного периода, размером ЧИП, параметрами подложки, межэлементным расстоянием, используемыми материалами. Конструкции поглотителей на основе ЧИП могут значительно превосходить многослойные конструкции по эффективности [9].

Также возможно снижение отражения ЭМИ от внешней поверхности с использованием материалов, в верхних слоях которых создаются периодические, так называемые киральные проводящие структуры, кооперативно взаимодействующие с электромагнитным излучением. Конструкции каждого такого элемента и всего их ансамбля могут быть самыми разнообразными [11]. В этом случае структуры рассчитываются таким образом, чтобы диаграмма направленности распространяющейся энергии была по возможности двумерной и лежала в плоскости отражающего материала [10]. Такие РПМ можно отнести к классу метаматериалов.

2 Современное состояние и перспективы разработки радиопоглощающих материалов

На сегодняшний день разработано большое количество однослойных и многослойных РПМ и множество композиционных материалов, которые позволяют снизить уровень микроволнового излучения. Некоторые перспективные разработки в области создания РПМ рассмотрены в статье [2].

Так, известно радиопоглощающее покрытие в широком диапазоне частот, которое включает в себя трехслойную эластичную пластину на основе резины, наполненной ферритовым порошком с различным содержанием последнего в каждом слое. Способ изготовления радиопоглощающего покрытия включает изготовление каждого слоя пластины, соединение первых трех слоев методом совулканизации, намагничивание четвертого слоя и установку в нем металлических или керамических магнитов, при этом намагничивание четвертого слоя осуществляют методом арочного намагничивания, после чего его приклеивают к пластине из первых трех слоев (пат. РФ №2256984, Н01Q). Недостатком такого покрытия являются: значительная толщина, сложность в изготовлении и значительный вес радиопоглощающего покрытия.

Рассмотрим несколько примеров получения радиопоглощающих покрытий и материалов. В патенте РФ №2234775 описан способ получения радиопоглощающего покрытия, который включает послойное нанесение на подложку слоев радиопоглощающего материала до набора необходимой толщины. Для получения покрытия в диэлектрическое связующее вводят 50об.% стеклянных микросфер и стеклянных металлизированных микросфер с полимерным покрытием, добавляют углеродное волокно 0,0003об.% и размешивают до однородного состава. Покрытие позволяет обеспечить электромагнитную совместимость бортового радиолокационного оборудования летательных аппаратов, восстанавливает радиотехнические характеристики радиолокационного оборудования без доработки, защищает экипаж от электромагнитного излучения.

Известно изобретение (пат. РФ №2482149), которое состоит в применении полимерного связующего с наполнителем в виде смеси порошкообразного феррита и карбонильного железа с диаметром частиц сферической формы 10-50 мкм и смеси фуллеренов C-60 и C-70. Недостатком этого изобретения является высокая стоимость используемых материалов.

В патенте РФ №2375395 предложен композиционный материал для поглощения электромагнитных волн на основе магнитодиэлектрического материала, содержащий полимерное диэлектрическое связующее, представляющее собой полиорганосилоксановый олигомер с добавкой катализатора, и магнитодиэлектрический тонкодисперсный наполнитель, выполненный из сплава железо-алюминий. Недостаток заключается в следующем: покрытие изготовлено из дорогостоящего материала по сложной технологии, включающей измельчение до микропорошка и рассев.

Сущность изобретения, описанного в патенте РФ №2275719, заключается в том, что радиопоглощающий материал изготавливается в виде армированного стеклотканью кольца, содержит углерод технический, а в качестве полимерной основы используется пенополиуретан. Недостатками данного материала являются неоднородность (размер пор 0,1...3 мм и не регулируется) и ненадежность.

Патент РФ №2369947 описывает изобретение, которое относится к материалам для поглощения электромагнитных волн. Сущность изобретения заключается в том, что в составе на основе диэлектрика, состоящего из карбонильного железа и полимерного связующего, в качестве полимерного связующего использован эпоксидный эластомер с отвердителем. Однако данное радиопоглощающее покрытие не пригодно для сверхширокополосных антенн.

Известен материал, который используется для ослабления отражения сигналов радара (пат. США №5817583). Между двумя слоями полимера размещена ткань, полости между нитями ткани заполнены материалом, ослабляющим отражение электромагнитной волны. В качестве материала, ослабляющего отражение, могут быть использованы гранулы углерода, углеродное волокно с малой длиной волокон, карбонильное железо, ферриты, металлизированные микросферы. Достоинством такого материала является гибкость, тканью можно покрывать изделия любых форм. Но существенным недостатком изобретения является сложность изготовления такого покрытия.

Также в патенте США №5135959 описан радиопоглощающий материал на основе сложных полиамидных пен с равномерной плотностью. В пене содержатся радиопоглощающие компоненты (частицы железа, феррита, углерода). Низкая влагостойкость приводит к изменению свойств материала и сокращению сроков эксплуатации.

В патенте РФ №2380867 описан композиционный материал для защиты от электромагнитных полей радиочастотного диапазона, который позволяет увеличить поглощение электромагнитного излучения при сохранении тех же значений отражения. В данный композиционный РПМ, содержащий порошкообразный феррит и полимерное связующее, введены углеродные нанотрубки, а сам ферритовый порошок выбран в качестве основы в виде бариетового гексагонального феррита, легированного ионами скандия, с дисперсностью от 5 до 50 мкм. Главным недостатком является то, что материал эффективно работает в диапазоне частот от 12 ГГц до 22 ГГц, однако в низкочастотной области СВЧ излучения (ниже 12 ГГц) данный материал теряет свои поглощающие свойства.

Разработан поглотитель электромагнитных волн (пат. RU 127255, U1, H01Q 17/00, G21F 1/12, 16.01.2013), содержащий диэлектрическое связующее – пенополиуретан и поглощающее электромагнитное излучение электропроводящее углеродное волокно. Поглотитель изготовлен в виде плоских панелей, концентрация углеродного волокна в которых монотонно увеличивается от лицевой стороны к тыльной, причем пределы изменения концентрации подобраны таким образом, что поглотитель имеет одновременно низкие значения коэффициентов отражения и пропускаемого падающего электромагнитного излучения в широкой полосе сверхвысокочастотного диапазона.

Использование в судостроении определенных лакокрасочных материалов обусловлено требуемыми характеристиками. Специальные покрытия судов предназначены не только для защиты корпуса от механических повреждений, но и могут снизить видимость корпуса судов и кораблей для радаров.

В результате обширных исследований и технологических работ авторами [3] была создана специальная эмаль «Силак», обеспечивающая снижение теплового излучения в 1,5-2 раза (по сравнению со штатными покрытиями) при положительном контрасте температуры объекта (по сравнению с фоном). Разработанная по этому параметру эмаль находилась на уровне подобного типа материалов стран НАТО. На рисунке 3 показаны результаты тепловизионного измерения, свидетельствующие, что при использовании покрытия «Силак» отражение корабля в ИК-области снижается почти в 2 раза. Площадь поверхности корабля уменьшается, делая его менее заметным в ночное время суток.

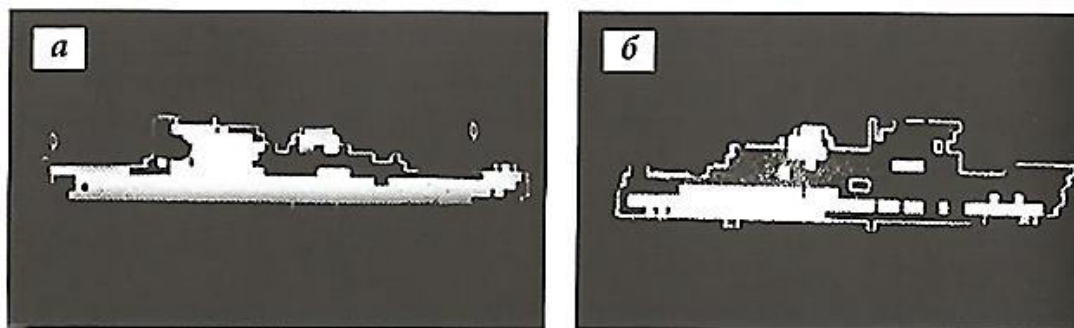


Рисунок 3 – Вид корабля в ночное время:

а – левый борт без покрытия «Силак», б – правый борт с покрытием «Силак»

3 Результаты исследования характеристик перспективных РПМ

Исходя из возможности и удобства применения лакокрасочных материалов для поглощения электромагнитного излучения, авторами статьи были проведены экспериментальные исследования характеристик перспективных, разрабатываемых в настоящее время РПМ, которые предполагается использовать для защиты радиоэлектронного оборудования.

Для проведения экспериментов была собрана установка, представленная на рисунке 4.

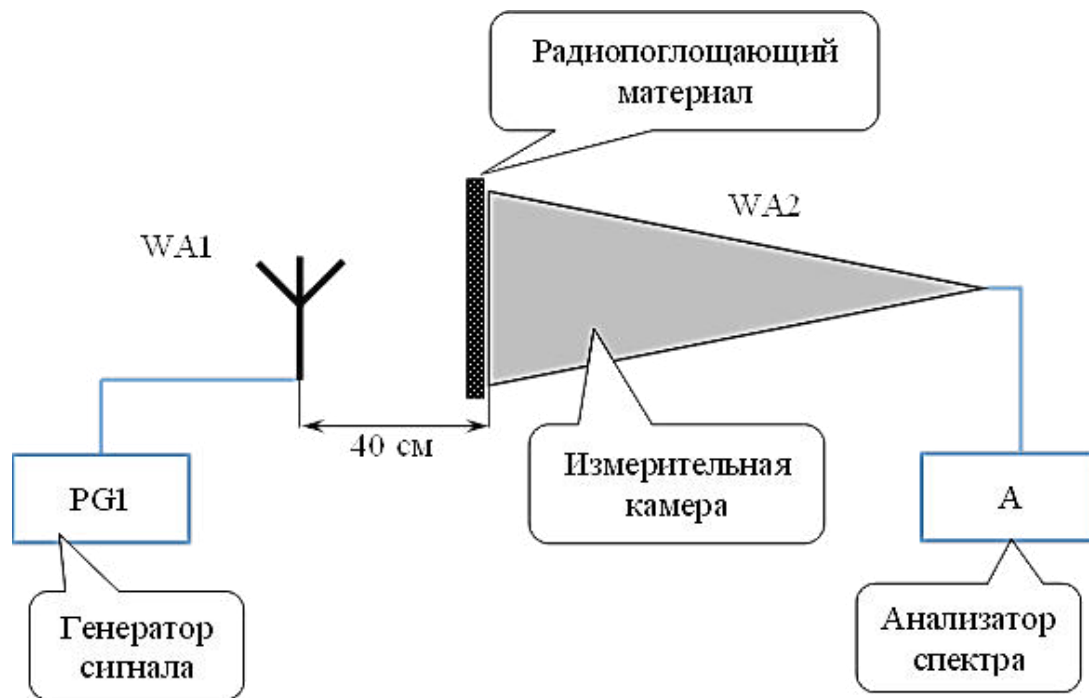


Рисунок 4 – Схема измерительной установки

В эксперименте использовались 3 образца РПМ в виде краски, наносимой на диэлектрическую поверхность, размещаемую перед измерительной камерой. Отличие между образцами РПМ заключалось в пропорциях, входящих в их состав компонентов. Как показано на рисунке 4, расстояние между передающей антенной WA1 и измерительной камерой с принимающей антенной WA2 составляет 40 см, исследуемый РПМ плотно прилегает к измерительной камере. На передающую антенну WA1 подается сигнал уровня 105 дБмкВ последовательно в диапазоне частот от 100 МГц до 3,6 ГГц. Сигнал от передающей антенны WA1 на частоте генератора сигнала PG1 проходит через исследуемый РПМ и поступает на приемную антенну WA2, расположенную в измерительной камере. От приемной антенны WA2 результаты измерений передаются в анализатор спектра А. Анализатор спектра А получает результаты измерения от приемной антенны WA2, расположенной в измерительной камере, принимающей сигнал от передающей антенны WA1, проходящий через исследуемый РПМ, на частоте генератора сигнала PG1. Для получения значения уровня ослабления сигнала, проходящего через РПМ, сначала был измерен уровень прохождения сигнала в указанном диапазоне частот без РПМ, затем последовательно установлены 3 вида РПМ. Для полноты измерений каждый из 3 видов РПМ нанесли на 3 диэлектрические подложки. Один, два и три слоя РПМ последовательно смонтировали, создав таким образом многослойную структуру из РПМ и диэлектрической подложки.

На графиках, изображенных на рисунке 5, представлен уровень прохождения сигнала без применения РПМ в трех диапазонах: 100...300 МГц, 300...1000 МГц и 1000...3600 МГц соответственно.

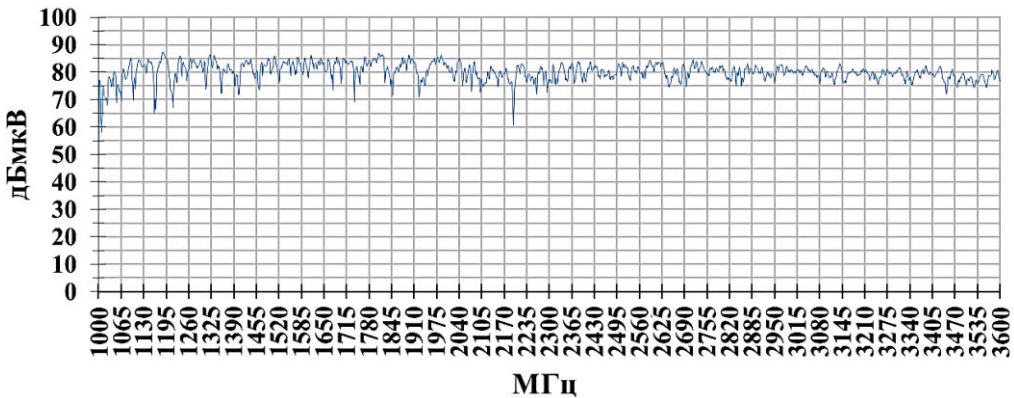
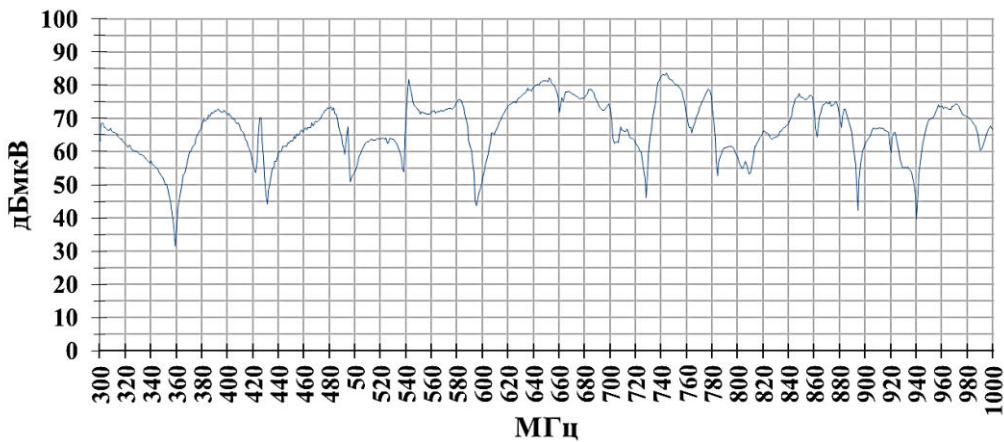
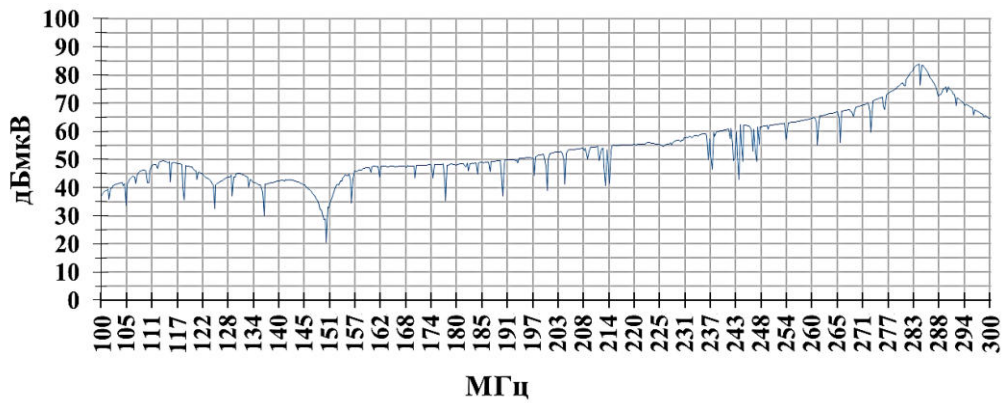


Рисунок 5 – Графики прохождения сигнала без использования РПМ в диапазонах 100...300 МГц, 300...1000 МГц и 1000...3600 МГц

Далее на графиках, изображенных на рисунке 6, представлены величины ослабления прохождения сигнала через РПМ «Образец № 1» в тех же трех диапазонах. Данные величины получены вычитанием значений уровня принятого антенной сигнала, который прошел через РПМ, из значений уровня принятого антенной сигнала, который не проходил через РПМ. На каждом рисунке изображено три графика и указано количество листов с нанесенным на них РПМ, прижатых вплотную друг к другу.

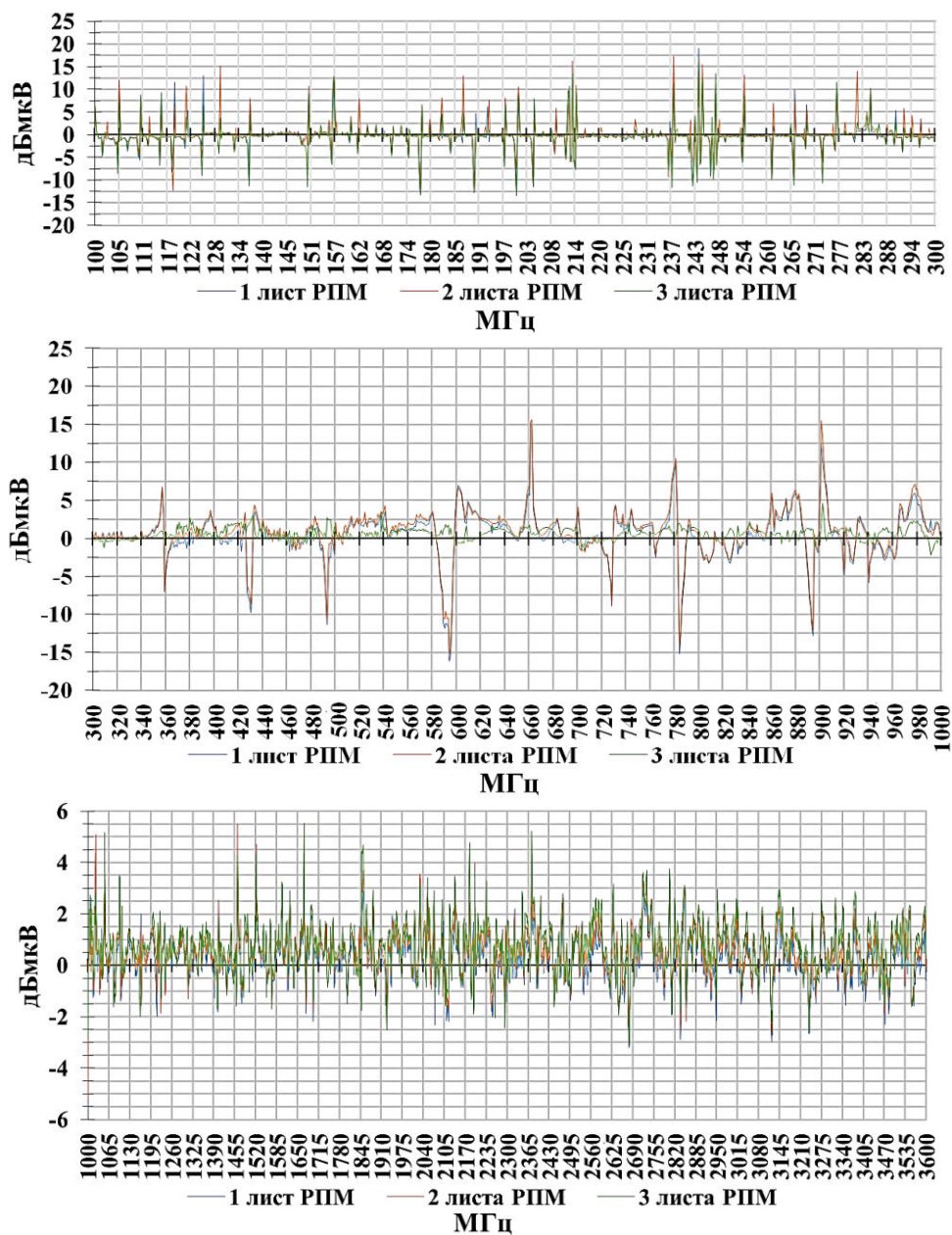


Рисунок 6 – Графики ослабления прохождения сигнала с использованием РИМ «Образец № 1» в диапазонах 100...300 МГц, 300...1000 МГц, 1000...3600 МГц

На рисунке 7 аналогично представлены графики величины ослабления прохождения сигнала через РИМ «Образец № 2».

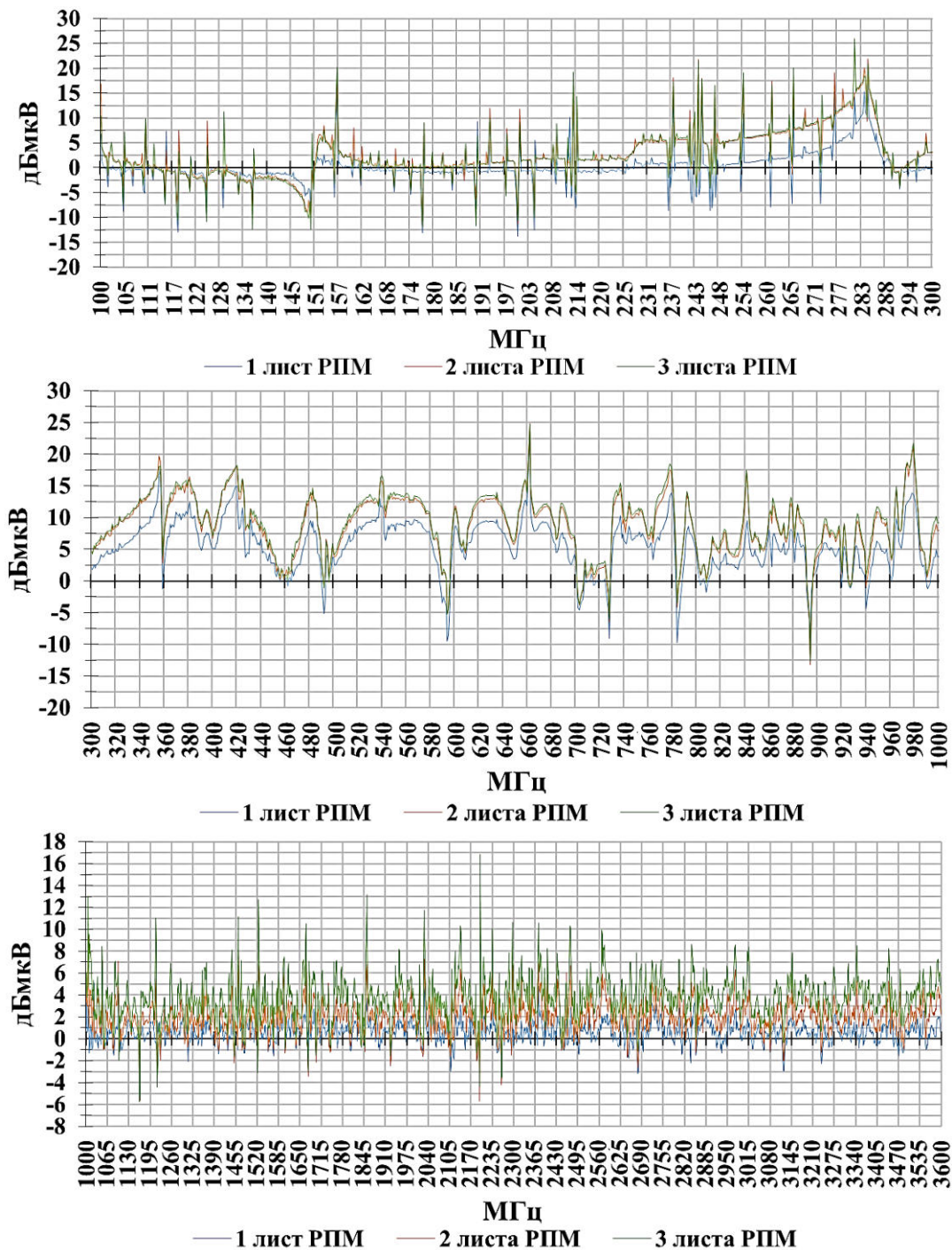


Рисунок 7 – Графики ослабления прохождения сигнала с использованием РИМ «Образец № 2» в диапазонах 100...300 МГц, 300...1000 МГц и 1000...3600 МГц

На рисунке 8 аналогично представлены графики величины ослабления прохождения сигнала через РИМ «Образец № 3».

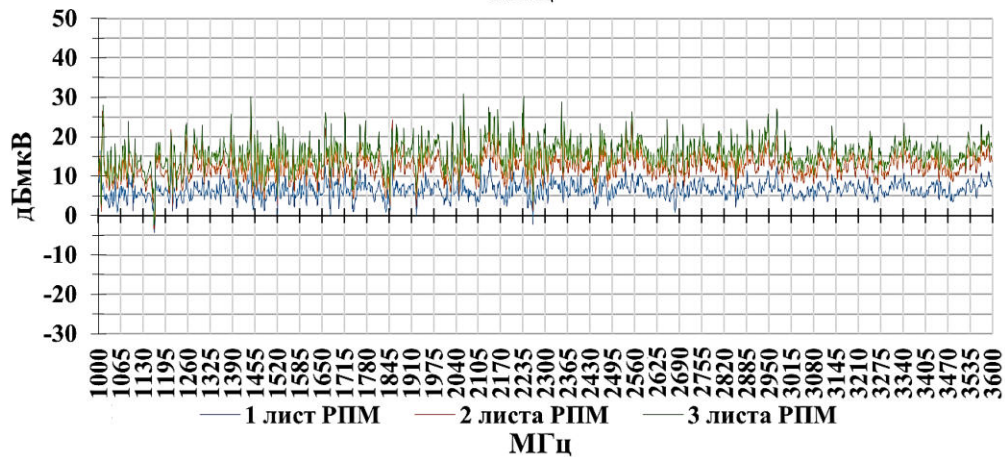
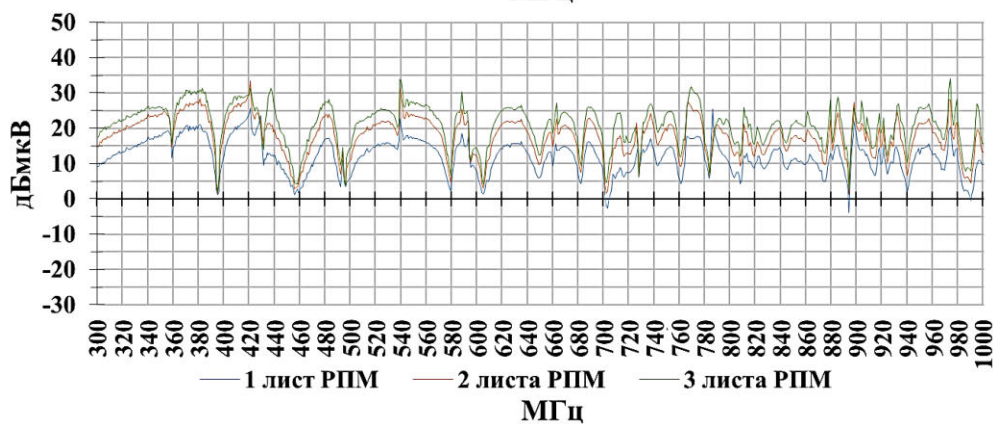
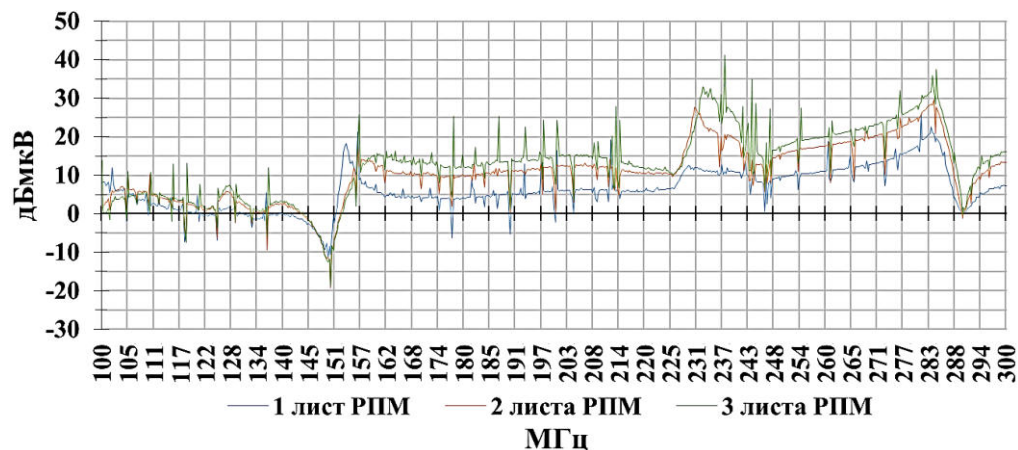


Рисунок 8 – Графики ослабления прохождения сигнала с использованием РПМ «Образец № 3» в диапазоне 100...300 МГц, 300...1000 МГц и 1000...3600 МГц

По результатам исследования и представленным графикам можно сделать следующие выводы.

РПМ «Образец № 1» в диапазоне частот от 100 МГц до 300 МГц ослабляет прохождение сигнала крайне неравномерно, и на определенных частотах достигается относительно неплохой уровень ослабления – до 20 дБмкВ. Также наблюдается повышение ослабления сигнала при последовательном скреплении нескольких листов

РПМ и возникновение ослабления на разных частотах при использовании разного количества последовательно скрепленных листов РПМ. На ряде частот возникает эффект снижения ослабления сигнала при его прохождении через РПМ. Величина, на которую снижается ослабление сигнала, сопоставима с уровнем его ослабления.

В диапазоне от 300 МГц до 1000 МГц график, полученный для РПМ «Образца № 1», более ровный. Вариант с двумя последовательно скрепленными листами РПМ на некоторых частотах существенно превосходит по уровню ослабления остальные варианты. Также отмечается, что вариант с тремя последовательно скрепленными листами РПМ практически во всем диапазоне уступил варианту с двумя листами РПМ. Эффект снижения ослабления сигнала при его прохождении через РПМ наблюдается на единичных частотах, но величина, на которую снижается ослабление прохождения сигнала, также сопоставима с уровнем ослабления.

В диапазоне частот от 1000 МГц до 3600 МГц РПМ «Образец № 1» имеет на некоторых частотах максимальные значения ослабления прохождения сигнала, не достигающие 6 дБмкВ, что существенно ниже по сравнению с максимумами других исследуемых диапазонов частот. Но в данном диапазоне частот подавляющее большинство максимумов получено при использовании трех последовательно скрепленных листов РПМ. В целом эффект снижения ослабления сигнала, проходящего через РПМ, равномерно распределен по диапазону частот. Средний уровень ослабления сигнала в данном диапазоне 1...1,5 дБмкВ.

В диапазоне частот от 100 МГц до 300 МГц РПМ «Образец № 2» по сравнению с РПМ «Образец № 1» имеет ярко выраженный эффект снижения ослабления сигнала в поддиапазоне частот от 110 МГц до 150 МГц и существенное увеличение ослабления прохождения сигнала в поддиапазоне от 225 МГц до 285 МГц. Необходимо отметить, что как снижение ослабления сигнала, так и увеличение ослабления сигнала в варианте с двумя и тремя последовательно скрепленными листами РПМ происходит почти в два раза сильнее, чем в варианте с одним листом РПМ. При этом существенной разницы между вариантами с двумя и тремя листами РПМ нет.

РПМ «Образец № 2» в диапазоне частот от 300 МГц до 1000 МГц существенно превосходит РПМ «Образец № 1» по среднему значению ослабления прохождения сигнала через РПМ. На единичных частотах диапазона происходит снижение ослабления сигнала. Вариант с двумя и тремя последовательно скрепленными листами РПМ в данном диапазоне дает несколько меньший прирост значений, чем в диапазоне от 100 МГц до 300 МГц. Также наблюдается незначительная разница в ослаблении сигнала между вариантом с двумя листами РПМ и вариантом с тремя листами РПМ.

В диапазоне частот от 1000 МГц до 3600 МГц РПМ «Образец 2» имеет худшие значения ослабления прохождения сигнала относительно других исследуемых диапазонов. РПМ «Образец № 2» имеет вдвое большее среднее значение ослабления прохождения сигнала по сравнению с РПМ «Образец № 1». С увеличением количества последовательно скрепленных листов РПМ ослабление сигнала пропорционально увеличивается. Эффект снижения ослабления сигнала в данном диапазоне частот по сравнению с РПМ «Образец 1» в среднем существенно снижен, но также равномерно распределен по диапазону.

РПМ «Образец № 3» в диапазоне частот от 100 МГц до 300 МГц имеет похожую структуру графика ослабления прохождения сигнала, похожую на РПМ «Обра-

зец № 2», однако поддиапазон снижения ослабления сигнала у него более узкий – от 145 МГц до 155 МГц. Увеличение ослабления существенно возрастает в поддиапазоне от 155 МГц до 285 МГц. Вместе с тем в поддиапазоне увеличения ослабления прохождения сигнала через РПМ «Образец № 3» практически отсутствует эффект снижения ослабления сигнала на некоторых частотах в отличие от аналогичного поддиапазона РПМ «Образец № 2». Необходимо отметить, что в целом способность ослаблять сигнал у РПМ «Образец № 3» в данном диапазоне частот существенно выше, чем у других РПМ. На графиках видно, что увеличение количества последовательно скрепленных листов РПМ от одного до двух увеличивает способность ослабления прохождения сигнала практически вдвое. Эффект увеличения ослабления прохождения сигнала сохраняется при увеличении количества листов РПМ с двух до трех, но в меньшей степени, то есть не в два раза.

В диапазоне частот от 300 МГц до 1000 МГц РПМ «Образец № 3» по уровню ослабления прохождения сигнала также превосходит другие образцы. Помимо этого, в данном диапазоне частот РПМ «Образец 3» имеет более равномерные значения ослабления прохождения сигнала, которые в среднем превышают значения других образцов на 10 дБмкВ. Эффект снижения ослабления сигнала практически отсутствует. Как и в диапазоне частот от 100 МГц до 300 МГц, в рассматриваемом диапазоне наблюдается аналогичное увеличение ослабления прохождения сигнала в зависимости от увеличения количества последовательно скрепленных листов РПМ. При этом разница в значениях увеличения сопоставима со значениями диапазона от 100 МГц до 300 МГц.

В диапазоне частот от 1000 МГц до 3600 МГц РПМ «Образец №3» ведет себя аналогично другим образцам и превосходит их по значениям ослабления прохождения сигнала. По сравнению с диапазоном от 300 МГц до 1000 МГц значения ослабления прохождения сигнала снижены в среднем на 10 дБмкВ, но по-прежнему растут с увеличением количества последовательно скрепленных листов РПМ. Степень увеличения данных значений сопоставима с увеличением в других исследуемых диапазонах. В отличии от других образцов, эффект снижения ослабления сигнала присутствует всего на нескольких частотах.

Выводы

В настоящем материале представилось возможным рассмотреть основные направления применения РПМ, а также востребованность РПМ и актуальность дальнейшего изучения и совершенствования материалов и покрытий.

Приведена классификация РПМ по нескольким признакам, которая, безусловно, не может претендовать на абсолютную полноту, но формирует общее представление о принципах функционирования РПМ. Каждый класс РПМ кратко описан. В качестве примеров приведены как экспериментальные РПМ, описанные в российских и зарубежных патентах, так и серийно выпускаемые коммерческие экземпляры. В статье упомянут отдельно класс РПМ в виде красок, который в данный момент активно развивается.

Проведена оценка результатов проведенных экспериментов с двумя изготовленными экспериментальными образцами РПМ – «Образец № 1» и «Образец № 2» и одним приобретенным серийно выпускаемым образцом – «Образец № 3». В целом

результаты эксперимента показали, что экспериментальные образцы, представленные для исследования, уступают по характеристикам варианту серийно выпускаемого образца, что стимулирует дальнейшие научные изыскания в данной области. При этом представляет интерес анализ различных эффектов, проявившиеся в ходе экспериментов.

Литература

- 1 ГОСТ Р 50397-2011. Совместимость технических средств электромагнитная. Термины и определения.
- 2 Хянин Д.С. Патентно-информационный ландшафт тематики радиопоглощающих покрытий / Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерн ВКО «Алмаз – Антей». – 2022. – № 10.
- 3 Дринберг А.С. Влияние электромагнитного излучения на различные материалы и покрытия (обзор) / Известия СПб ГТИ (ТУ) № 38, 2017. – С. 19-24.
- 4 Романов А.М., Беляев А.А., Широков В.В. Особенности оптимизации резонансных радиопоглощающих материалов немагнитного типа // Труды ВИАМ № 11, 2014.
- 5 Лыньков Л.М., Борботько Т.В., Богущ В.А., Колбун Н.В. Конструкции гибких поглотителей электромагнитной энергии СВЧ диапазона // Доклады БГУИР. Том 1, № 1, 2003. – С.92-101.
- 6 Журавлев С.Ю. Термостойкие радиопоглощающие композиционные материалы на основе тонкопленочных наноструктурированных углеродных покрытий – Диссертация / ФГБОУ МАИ (НИУ), 2018.
- 7 Аполлонский С.М. Защита техносферы от воздействия физических полей и излучений. В 3 т. Т. 2. Защитные материалы от физических полей и излучений: монография – М.: РУСАЙНС, 2016. – 342 с.
- 8 Островский О.С., Одаренко Е.Н., Шматько А.А. Защитные экраны и поглотители электромагнитных волн / Харьковский национальный университет им. В.Н. Каразина, 2003. – С. 161-173.
- 9 Антипов С.А., Латыпова А.Ф., Пастернак Ю.Г. Обзор радиопоглощающих структур на основе искусственных поверхностей // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2014. – Т10, № 5-1. – С. 9-15.
- 10 Nader Engheta, Richard W. Ziolkowski. Metamaterials: Physics and Engineering Explorations / Wiley & Sons. 2006.
- 11 Андреев А.Ю., Матвеевцев А.В., Патраков Ю.М., Ржевский А.А. Перспективные средства снижения заметности кораблей в верхней полусфере и контроля их эффективности // Труды Крыловского государственного научного центра. – 2019. – Т.1, № 387. – С. 155-166.

Курчанов Игорь Александрович – кандидат технических наук, начальник отдела, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования радиоэлектронных изделий в области электромагнитной совместимости, вопросы, связанные с оценкой восприимчивости к электромагнитным помехам и помехоэмиссии разрабатываемых изделий, изучение свойств радиопоглощающих покрытий и материалов.

Email: ikurchanov@yandex.ru

Лысенко Алексей Евгеньевич – ведущий специалист, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования в области побочных электромагнитных излучений и наводок технических изделий, исследование помехозащищенности технических изделий с использованием различных экранирующих и радиопоглощающих материалов.

Email: xiii.2013@yandex.com

Лебедев Владислав Андреевич – инженер, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: исследования в области обеспечения радиоэлектронной защиты, восприимчивости радиоэлектронных средств к электромагнитным помехам, помехоэмиссии изделий, а также в области радиопоглощающих материалов и покрытий.

Email: feikmelol1506@yandex.ru

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

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT RADIO-ABSORBING MATERIALS

A brief overview of the current state and prospects for the development of radio-absorbing materials was conducted, the classification of radio-absorbing materials was considered, the results of comparative experiments of three samples of radio-absorbing materials, applied in the form of paint, were evaluated, some characteristics of radio-absorbing materials were analyzed, and possible ways of development of radio-absorbing materials were considered.

Keywords: radio-absorbing materials, radio-absorbing coatings, absorption capacity, electromagnetic radiation, anti-radar masking, reflected radiation.

Kurchanov Igor Aleksandrovich - Candidate of Technical Sciences, Head of the Department, JSC "Russian Institute of Radio Navigation and Time", St. Petersburg.

Research interests: research of radio-electronic products in the field of electromagnetic compatibility, issues related to the assessment of susceptibility to electromagnetic interference emissions of products under development, the study of the properties of radio-absorbing coatings and materials.

Lysenko Alexey Evgenievich - Leading specialist of JSC "Obukovsky Plant", St. Petersburg.

Research interests: research in the field of side electromagnetic radiation and interference of technical products, research in of noise immunity of technical products using various shielding and radio-absorbing materials.

Lebedev Vladislav Andreevich - Engineer, JSC "Russian Institute of Radio Navigation and Navigation", St. Petersburg.

Research interests: research in the field of radio-electronic protection susceptibility of radio-electronic media to electromagnetic interference emission of products, as well as in the field of radio-absorbing materials and coatings.

ПАТЕНТНО-ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЛАНДШАФТ ТЕМАТИКИ РАДИОПОГЛОЩАЮЩИХ ПОКРЫТИЙ

Хянин Д.С.

Рассмотрено современное состояние публикаций открытых статей на тему радиопоглощающих покрытий и материалов. Изложены результаты тематического патентного поиска и представлен обзор актуальных рыночных предложений на реализованные образцы.

Ключевые слова: Электромагнитная совместимость; радиопоглощающий материал; радиопоглощающее покрытие; помеха; излучение; частота; распространение волн.

Введение

В настоящее время на высоком уровне находится современное состояние теории радиопоглощения, однако научно-методический аппарат обоснования применения радиопоглощающих материалов в приемо-передающей аппаратуре радиолокационных комплексов недостаточно развит.

Одновременно с этим предъявляются высокие требования к электромагнитной совместимости (ЭМС) приемо-передающей аппаратуре радиолокационных комплексов, но способы подавления шумов и помех с помощью радиопоглощающих покрытий и материалов развиты недостаточно.

В данной статье проводится анализ существующего состояния распространения радиопоглощающих покрытий и материалов в промышленности, их применения при проектировании радиолокационных устройств.

1 Классификация РПП и РПМ

Радиопоглощающий материал – материал, обеспечивающий снижение уровня электромагнитной волны (ЭМВ) в радиодиапазоне в результате отражения от него электромагнитной энергии. В общем случае при взаимодействии электромагнитной энергии с материалом имеет место явление отражения, рассеяния, поглощения, интерференции и дифракции электромагнитных волн [1].

С технологической точки зрения все известные радиопоглощающие материалы можно разделить на две большие группы: наносимые материалы или радиопоглощающие покрытия, предварительно формируемые, или конструкционные радиопоглощающие материалы [2].

РПМ и РПП можно разделить по принципу работы на:

- интерференционные, являющиеся, как правило, узкодиапазонными, в которых гашение отраженной волны происходит за счёт интерференции волн, отраженных от передней, внутренних и задней поверхностей покрытия;
- поглощающие, в основном, широкодиапазонные, в которых поглощение волн происходит за счет диэлектрических и магнитных потерь;

- рассеивающие, в которых уменьшение отражения энергии в одном направлении обязано её рассеянию в различных направлениях (под различными углами);
- комбинированные, сочетающие все вышеуказанные признаки.



Рисунок 1 – Классификация РПП и РПМ

По типу конструкции на:

- слоистые (одно- и многослойные),
- конфигурационные, имеющие определенную геометрию наружной или внутренней поверхности, в виде выступающих шипов, пирамид, конусов, отверстий различной формы, волнистости, а так же имеющие ячеисто-клеточную или сотовую структуру [3].

Конструкционные РПМ можно разделить на: резонансные, нерезонансные магнитные и нерезонансные объемные материалы.

Резонансными РПМ обеспечивается частичная или полная нейтрализация отраженного от поверхности ЭМИ частью его, прошедшей по толщине материала. Эффект нейтрализации значителен при толщине материала, равной одной четверти длины волны излучения.

Нерезонансные магнитные РПМ содержат частицы феррита, распределенные в диэлектрической матрице. Основное преимущество нерезонансных магнитных РПМ состоит в их широкополосности.

Нерезонансные объемные РПМ обычно используются в виде относительно толстых слоев материала, поглощающих большую часть падающего ЭМИ до отражения от металлической подложки. Принцип работы основан на использовании как диэлектрических, так и магнитных потерь [4, 5].

В зависимости от принципа взаимодействия с ЭМИ радиопоглощающие материалы условно можно классифицировать на материалы с диэлектрическими потерями и с магнито-диэлектрическими потерями [6].

Метаматериалы – это искусственные периодические структуры с необычными электродинамическими свойствами. Примером метаматериальных структур являются различные периодически расположенные на диэлектрических подложках проводящие включения, такие как разорванные спирали, кольца, двойные спиральные кольца, а также различные структуры, нагруженные пассивными или активными электронными компонентами.

2 Анализ статей и публикаций на тему исследования РПП и РПМ

С каждым годом интерес к теме РПМ и РПП поддерживается на высоком уровне. Проведя анализ научных публикаций на сайте [7] за предыдущие 4 года и экстраполировать данные методом линейной регрессии, можно наблюдать, как меняется количество статей по различным типам материалов.

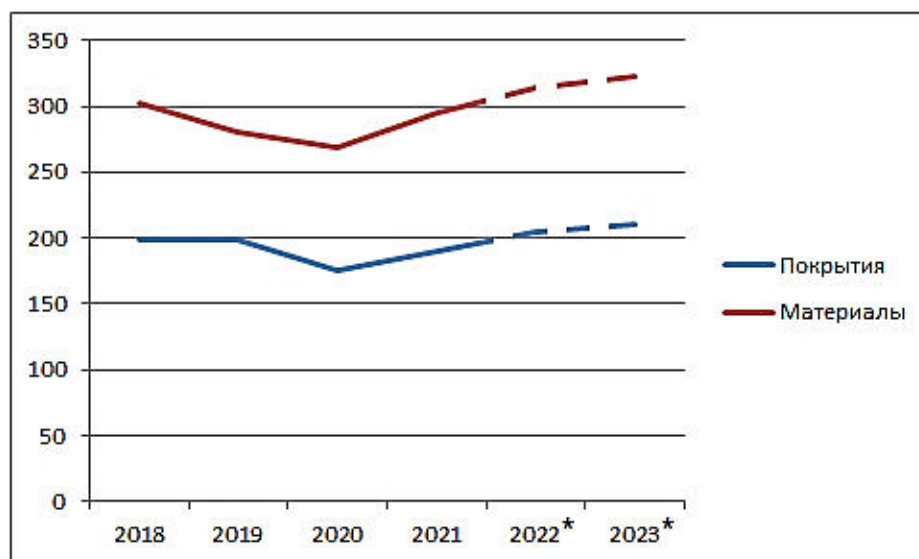


Рисунок 2 – Количество статей по РПМ и РПП

Как видно из графиков на рисунках 2 и 3, количество статей по РПМ держится на уровне 300 штук в год, РПП – 200 штук соответственно. Если 5 лет назад, в 2018 году, наибольшей популярностью пользовались конструктивные материалы, то со временем их количество уменьшается. Сейчас, наибольший интерес вызывают метаматериалы, что видно на рисунке 3.

3 Исследование тенденций реализованных РПП и РПМ

На сегодняшний день разработано большое количество однослойных и многослойных РПП. Однослойные РПП имеют однородную по толщине структуру и работоспособны в узком частотном диапазоне. Коэффициент широкополосности таких покрытий, при ограничениях по толщине, составляет от 0,1 до 1,0 мм в зависимости от установленного минимально значения коэффициента отражения в данном частотном диапазоне. Зачастую однослойные РПП не могут обеспечить заданные значения коэффициента отражения ЭМВ в широком диапазоне частот, что приводит к необходимости использования многослойных РПП [8].

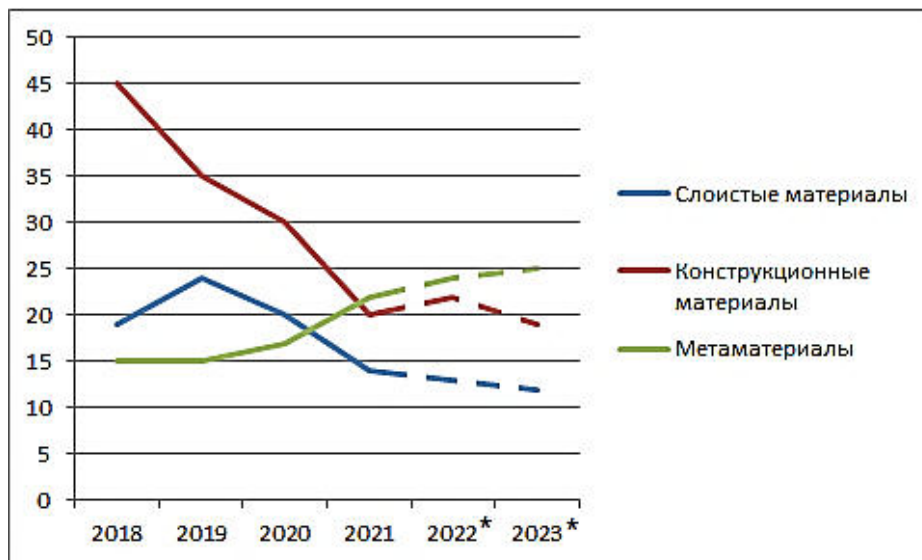


Рисунок 3 – Количество статей по типам материалов

* состояние на 20 ноября 2022 года.

Примером такого материала является широкополосный листовой поглотитель СВЧ-энергии ЗИПСИЛ 601 РПМ-01, г. Томск, ООО «РТ-Технологии». Материал является тонким, гибким, листовым широкополосным, термостойким СВЧ-поглотителем энергии (поглотителем СВЧ-энергии, поглотителем электромагнитных волн, ПЭВ, листовой поглотитель СВЧ-излучения). Он способен эффективно поглощать СВЧ-волны в частотном диапазоне от 100 МГц до 50 ГГц, не проводит электрический ток, имеет высокую диэлектрическую прочность, поэтому может применяться вблизи неизолированных электропитающих элементов.

Листовая основа наполнена магнитными нано- и микрочастицами специальной формы [9].

При формировании многослойных РПП последовательно наносятся слои покрытия по принципу уменьшения значений магнитной и диэлектрической проницаемости каждого последующего слоя покрытия в сторону от металлизированной поверхности, на которую они наносятся. К достоинствам таких покрытий можно отнести более высокие значения коэффициента широкополосности, по сравнению с однослойными РПП, и достаточно хорошие физико-механические свойства. В то же время многослойные РПП обладают рядом недостатков, а именно высокой поверхностной плотностью, и, следовательно, массой; необходимостью строго выдерживать толщину каждого наносимого слоя; необходимостью наличия металлизированной поверхности (подложки) [4, 10].

Ещё один РПМ, предложенный на рынке, – ИКУР. Он представляет собой радиопоглощающий двухслойный материал, обеспечивающий уникальные характеристики поглощения и отражения радиоволн в диапазоне от 100 МГц до 10000 МГц. Авторство и исключительное право использования и производства ИКУР, удостоверяется приоритетом изобретения от 11 февраля 2020 года № 2020106633/20(010307) «Радиозащитный композиционный материал ИКУР, способы получения ИКУР и поглощающих электромагнитные излучения материалов».

Сухая цементно-углеродная смесь третьего поколения UNIT ИКУР РО, UNIT ИКУР РП предназначена для внутренних и наружных штукатурных работ. Сухая цементно-углеродная смесь UNIT ИКУР ПЛ предназначена для стяжки пола. Смеси UNIT ИКУР применяются для создания радиозащитных, радиоотражающих и радиопоглощающих покрытий строительных конструкций измерительных площадок для проведения специальных исследований технических средств, радиозащищенных помещений, безэховых экранированных камер. В качестве оснований для нанесения могут служить бетонные и железобетонные конструкции, все виды стеновых и листовых материалов [11].

В экранировании помещений широко распространены конструкционные материалы. Они применяются для покрытия безэховых камер в военном и гражданском производстве. Примерами таких материалов могут служить: Тайваньский материал серии HS-P-R – это пирамидальные радиопоглощающие материалы, обработанные влагостойким силиконом. Резиновое покрытие на внешнем слое поглощающего материала повышает долговечность материала и продлевает срок его службы [12, 13].

Его аналог – отечественный материал от компании НТЦ «Фарадей». РПМ производят на основе каучука, пенопласта, пенополистирола, металло-керамических композиций. В качестве радиопоглощающих структур вводят наполнители – по отдельности или в виде композиций с заданными пропорциями:

- электропроводящие дисперсные – графит, сажи, металлические частицы;
- волокнистые – металлические, углеродные, металлизированные полимеры;
- магнитные – порошки ферритов и высокочистого карбонильного железа, спеченные ферритовые пластины.

С целью увеличения поглощающей способности поверхностей их выполняют многослойными и увеличенной толщины. В некоторых случаях – с конусообразными выступами со стороны падения радиоволны [14].

Ещё одна отечественная разработка – это термостойкий герметик поглотитель СВЧ-энергии ЗИПСИЛ 410 РПМ-Л. Это жидкий литевой термостойкий герметик со свойствами сверхширокополосного поглотителя СВЧ-энергии.

Компаунд используется для снижения паразитных отражений, увеличения диэлектрической прочности печатных плат, герметизации фланцевых соединителей, создания защитного заполнения, обеспечения стандартов ЭМС модулей, блоков, узлов НЧ и СВЧ - радиоаппаратуры, а также для создания покрытий снижения радиозаметности объектов.

Кроме того, герметик ЗИПСИЛ 410 РПМ-Л применяется при герметизации стыков, щелей и других элементов безэховых камер.

Для вулканизации радиопоглощающего герметика достаточно комнатной температуры. В результате вулканизации герметика получается силиконовое резиноподобное покрытие, обладающие свойствами поглощать СВЧ-волны в широком частотном диапазоне от 100 МГц до 50 ГГц, а также высокой эластичностью и гибкостью, которые свойственны высококачественным силиконам [9].

Пример многослойного материала – это материал «Siepel АН». Серия плоских пятислойных поглотителей, изготовленных из полиэфирного пенополиуретана с 90% открытых пор, пропитанного диэлектрическим углеродным раствором, связующим веществом и антипиреном. Поглотители серии «Siepel АН» применяются для покрытия любых

металлических поверхностей, мачт и оснований антенн. Также они способствуют предотвращению нежелательной связи между антеннами. Высокие характеристики поглощения поглотителей серии «Siepel AH» обеспечиваются за счет малой толщины [15].

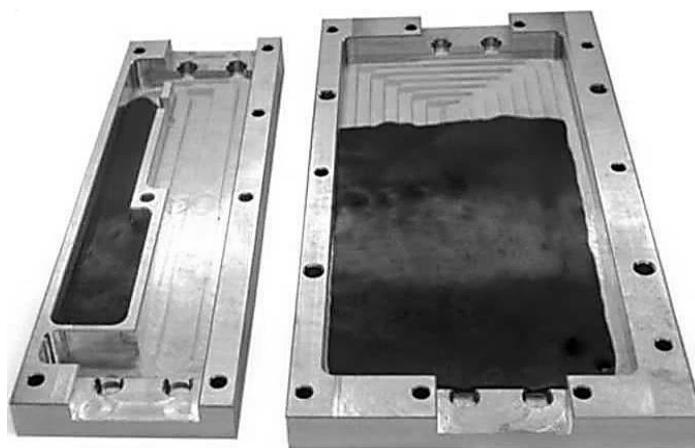


Рисунок 4 – Пример нанесения ЗИПСИЛ 410 РПМ-Л [9]

Конструкция матрицы: полиэфирный пенополиуритан с 90% открытых пор. Пропиточные средства: углерод, связующее вещество, антипирен. Предельно допустимая мощность: макс. 0,16 Вт/см² для незатухающих гармонических волн.

Т а б л и ц а 1 – Характеристики материала серии «*Siepel AH*» [15]

| Название | Толщина одного слоя, мм | Диапазон частот, ГГц | Вес пластины, кг |
|--|-------------------------|----------------------|------------------|
| Siepel AH25 многослойный РПМ 9 - 100 ГГц, высота 25 мм | 5 | от 9 до 100 | 0,56 |
| Siepel AH25 многослойный РПМ 9 - 100 ГГц, высота 25 мм | 6 | от 5 до 100 | 0,67 |
| Siepel AH25 многослойный РПМ 9 - 100 ГГц, высота 25 мм | 8 | от 2,4 до 100 | 0,89 |
| Siepel AH25 многослойный РПМ 9 - 100 ГГц, высота 25 мм | 15 | от 0,95 до 100 | 1,65 |
| Siepel AH25 многослойный РПМ 9 - 100 ГГц, высота 25 мм | 20 | от 0,8 до 100 | 2,22 |
| Siepel AH25 многослойный РПМ 9 - 100 ГГц, высота 25 мм | 25 | от 0,6 до 100 | 2,78 |
| Siepel AH25 многослойный РПМ 9 - 100 ГГц, высота 25 мм | 50 | от 0,45 до 100 | 5,55 |

4 Перспективы развития РПП(М)

С целью оценки перспективы развития радиопоглощающих материалов и покрытий был проведён патентный поиск по базам данных Роспатента и *Google Patents* [16, 17], который показал, большое количество разработок в этой области. Для примера рассмотрим несколько наиболее интересных из них.

Т а б л и ц а 2 – Зарегистрированные патенты на перспективные РПП(М)

| № патента, страна, год, фирма | Техническая идея |
|---|---|
| РФ №2231877С2, 2002 г. ФГУП «Центральное конструкторское бюро автоматики» | Техническая идея заключается в получении эластичного поглощающего состава, химически инертного в замкнутом герметичном объеме СВЧ-микроблоков, с большим коэффициентом поглощения в диапазоне частот до 18 ГГц. Работоспособного в условиях вибрационных нагрузок и интервале температур от минус 60 °С до плюс 200 °С. Сущность изобретения заключается в том, что поглотитель содержит карбонильное железо, а в качестве полимерного связующего использованы низкомолекулярный каучук и катализатор №68 (компаунд "Виксинт ПК-68"). |
| РФ №2169952С1, 2001 г. АО «ВНИИ авиационных материалов» | Материал, который состоит из ферритовой подложки и нанесенного на неё согласующего диэлектрического слоя с углеродным наполнителем. Представляет собой слоистую структуру, состоящую из плоских слоев звукопоглощающего материала различной плотности, причем плотность слоев уменьшается по мере удаления от ферритовой подложки. В качестве звукопоглощающего материала может быть использован неорганический, негорючий материал, например, вспененный базальт. Согласующие диэлектрические слои могут быть выполнены с различным содержанием углеродного наполнителя. |
| РФ №2355081С1, 2009 г. ФГУП «Ордена Трудового Красного Знамени НИИАА имени академика В.С. Семенихина» | Повышение радиопоглощающих свойств материала достигается за счет ввода в полимерный диэлектрический материал, содержащий микрогранулы, матрицы которых являются прозрачными для излучения радиоволнового диапазона и содержат вещества, поглощающие электрическую и магнитную составляющие радиоволнового излучения, при этом каждый вид микрогранул содержит только одно радиопоглощающее вещество, выбранное из группы, содержащей феррит, медь, фуллерен C70, равномерно распределенное во всем объеме материала матрицы в форме нанокластеров. |
| США №6231794В1, 2001 г. Lockheed Martin Corp | Радиопоглощающий материал, который состоит из пористого эластичного материала, например, полиуретана, который покрыт слоем пористого эластичного материала с распределенными в нем проводящими частицами, например, частицами графитовой пудры или частицами углеродного материала, смешанными с металлическими частицами. Материал получается эластичным, имеет толщину не более 2,5 мм. |

| | |
|---|---|
| <p>США №5617095А, 1997 г. Korea Research Institute of Standards and Science</p> | <p>Поглотитель содержит металлическую пластину, на которой располагается ферритовая пластина. На поверхности ферритовой пластины установлены несколько разделенных промежутками конических элементов из феррита или композиционного материала на основе феррита.</p> |
| <p>РФ №2294948С1, 2007 г. Московский инженерно- физический институт</p> | <p>Известны поглотители электромагнитных волн из радиопоглощающего материала, выполненные из наполнителя, в качестве которого использован нанопорошок магнитного сплава НК-29 (Ni - 29,13%, Co - 17,51%, Fe - остальное) и связующее - поливинилбутироль, который изготовлен путем нанесения радиопоглощающего материала на защищаемую поверхность в несколько слоев с промежуточной сушкой каждого слоя и помещением в один из слоев разрезных колец из электропроводящего материала, при этом по крайней мере, один из слоев радиопоглощающего покрытия изготавливают из композиционного материала с ферромагнитными свойствами, а сам слой обрабатывают в поле постоянного магнита так, что вектор напряженности магнитного поля лежит в плоскости покрытия.</p> |
| <p>РФ №2423761С1, 2011 г. «Томский государственный университет», Томский научный центр Сибирского отделения РАН</p> | <p>Поглотитель электромагнитных волн из радиопоглощающего материала, полученного способом, включающим механическую обработку порошка оксидного гексагонального ферромагнетика с W-структурой в механоактиваторе при факторе энергонапряженности 20-40 g и последующее его смешение с эпоксидной смолой в соотношении, мас. %: оксидный гексагональный ферромагнетик - 65-90, эпоксидная смола - 10-35, при этом порошок делят на N партий, каждую из которых в отдельности обрабатывают в механоактиваторе в течение времени, необходимого для достижения условия, когда статическая магнитная проницаемость порошка $\mu_1 \geq \mu_2 > \mu_3 \dots \mu_N$, где 1, 2, 3...N соответствует номеру слоя, затем слой, состоящий из порошка первой партии, смешанного с эпоксидной смолой, соединяют с металлической подложкой и к нему последовательно присоединяют следующие слои, состоящие из порошков других партий, также смешанных с эпоксидной смолой.</p> |
| <p>РФ №2228565С1, 2004 г. Санкт-Петербургский Государственный Технический Университет</p> | <p>Поглотитель электромагнитных волн в виде радиопоглощающего покрытия, включающего основу из, по меньшей мере, одного слоя переплетенных арамидных высокомодульных нитей с нанесенной на нити вакуумным напылением пленкой из гидrogenизированного углерода с вкрапленными в него ферромагнитными кластерами при</p> |

| | |
|---|--|
| | следующем соотношении компонентов, мас. %: ферромагнитные кластеры 50-80, гидрогенизированный углерод - остальное. |
| РФ №2370866С1, 2009 г. ОАО «Завод Магнетон» | Техническое решение является поглотитель электромагнитных волн из радиопоглощающего материала, включающего основу из, по меньшей мере, двух слоев переплетенных рядов нитей, скрепленных радиопрозрачным материалом, с нанесенной на каждый слой вакуумным распылением пленкой из гидрогенизированного углерода с вкрапленными в него частицами ферромагнитного материала, при этом направление переплетенных рядов нитей одного слоя тканого материала составляет с направлением переплетенных рядов нитей смежного слоя угол 60-120°, а содержание частиц ферромагнитного материала составляет от 5 мас. % в пленке, нанесенной на наружный слой переплетенных рядов нитей, до 85 мас. % в пленке, нанесенной на слой переплетенных рядов нитей, прилегающий к защищаемой поверхности. |
| США №5661484А, 1998 г. Martin Marietta Corp | В патенте описано устройство для поглощения излучения радаров. Покрытие имеет 2 типа электропроводных немагнитных прямолинейных волокон, отличающихся друг от друга значениями диэлектрической проницаемости (ДП). Для получения требуемых значений ДП были подобраны длина, диаметр и объем волокон. Одни волокна изготовлены из графита марки Т300 или AS-4 с малым диаметром и обладают относительно высоким электрическим сопротивлением. Вторые волокна изготовлены из металлов - нержавеющей стали, Ni, Cu и покрыты графитом. В качестве связующего можно использовать резину или полимеры. Такой поглощающий материал имеет комплексную диэлектрическую проницаемость. Это позволяет изобретению поглощать ЭМВ в широком диапазоне. |

Заключение

Проведя анализ современного состояния положения дел в области исследования радиопоглощающих покрытий и материалов можно сделать вывод, что интерес к таким типам материалов постоянно растёт. Это выражается в количестве статей, постоянно издающихся, появления заявок на регистрации новых патентов и коммерческих реализаций готовых продуктов. Ввиду большого разнообразия типов материалов, их применение в серийной аппаратуре позволит улучшить электромагнитную совместимость без большого увеличения массогабаритных характеристик изделий.

Несмотря на то, что научный интерес к данной теме высок и поддерживается на высоком уровне последние годы, стоит отметить, что потенциал для развития радиопоглощающих покрытий и материалов очень велик.

Литература

- 1 *Голдин Б.А.* Проблемы радиопрозрачности и радиопоглощения керамических и композиционных материалов со структурой корунда (сравнительный анализ). Сыктывкар.: Известия Коми научного центра УрО РАН. – 2010. – № 3. 3 стр.
- 2 *Алимин Б.Ф.* Зарубежная радиоэлектроника. 1989. – № 2. С. 75-82.
- 3 *Алексеев А.Г., Штагер Е.А., Козырев С.В.* Физические основы технологии stealth. – СПб.: ВВМ, 2007. – 282 с.
- 4 *Богуш В.А., Борботько Т.В., Гусинский А.В., Лыньков Л.М., Тамело А.А.* Электромагнитные излучения. Методы и средства защиты: Научное издание. – Мн.: Бест-принт, 2003. – 406 с.
- 5 *Гусев Д.И., Курбатов А.В.* Отечественные радиопоглощающие материалы, Справочник. Часть 2. – М.: п/я Г-4149. – 1998. – 40 с.
- 6 *Казанцева Н.Е., Рывкина Н.Г., Чмутин И.А.* Перспективные материалы для поглотителей электромагнитных волн сверхвысокочастотного диапазона Радиотехника и электроника, 2003. – Т.48. – №2. С. 196-209.
- 7 eLIBRARY.RU: научная электронная библиотека: сайт – URL: <http://elibrary.ru> (дата обращения 20.11.2022). – Режим доступа: для зарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
- 8 *Захарьев Л.Н., Леманский А.А.* Рассеяние волн «черными» телами: – М.: Советское радио, 1972. – 288 с.
- 9 ZIPSIL.RU: интернет-магазин материалов ЭМС: сайт – Томск, 2014 – URL: <http://zipsil.ru> (дата обращения 03.11.2022). – Режим доступа: для незарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
- 10 *Михайлин Ю.А.* Специальные полимерные материалы. – СПб.: Научные основы и технологии, 2008. – 660 с.
- 11 UNIT74.RU: центр защиты информации Unit: сайт – Челябинск, 2011 – URL: <https://unit74.ru/ikur-2/> (дата обращения 17.11.2022). – Режим доступа: для незарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
- 12 HOMESUN.COM: интернет-магазин материалов ЭМС: сайт – Taoyuan City, Taiwan – URL: <https://en.homesun2004.com> (дата обращения 13.11.2022). – Режим доступа: для незарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
- 13 *Беляев А.А., Агафонова А.С., Антипова А.Е., Ботаногова Е.Д.* Конструктивный радиопоглощающий материал трёхслойной структуры с согласующим слоем. ФГУП «ВИАМ» ГНЦ, 2013.
- 14 FARADEY.RU: НТЦ Фарадей: сайт – Санкт-Петербург – URL: <http://faradey.ru>. (дата обращения 20.11.2022). – Режим доступа: для незарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
- 15 4TEST.RU: интернет-магазин материалов ЭМС: сайт – Москва, 2022 – URL: <http://4test.ru> (дата обращения 18.11.2022). – Режим доступа: для незарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
- 16 ROSPATENT.GOV.RU: платформа Роспатент: сайт – Москва, 2021 – URL: <http://searchplatform.rospatent.gov.ru> (дата обращения 10.11.2022). – Режим доступа: для незарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.
- 17 PATENTS.GOOGLE.COM: Google Patents: сайт – URL: <http://patents.google.com>. (дата обращения 10.11.2022). – Режим доступа: для незарегистрир. пользователей. – Текст: электронный.

Сведения об авторах

Хянин Дмитрий Сергеевич – инженер-конструктор 1 категории, АО «Завод радиотехнического оборудования», аспирант АО «Обуховский Завод».

Область научных интересов: радиолокационные системы и комплексы

E-mail: h9in_clg@mail.ru

CURRENT STATE AND PROSPECTS OF DEVELOPMENT OF RADIO-ABSORBING COATING AND MATERIALS

This article examines the current state of publications of open-articles on the topic of radio-absorbing coatings and materials. Carried out a patents search for such materials and a review of actual market offers for already sold materials and coatings.

Keywords: electromagnetic compatibility; radio-absorbing material; radio-absorbing coating; interference; radiation; frequency; wave propagation.

Khyanin Dmitry Sergeevich – Design Engineer of the 1 st. cat. of the design department – 1 JSC “ZRTO”, postgraduate student of the scientific and education center of JSC “SZRC Concern AD “Almaz-Antey” – Obykhov plant.

Research interests: radar systems and complexes.

ОСВЕЩЕНИЕ – ЭТО ПРОСТО!?

Васильева И.Е.

Изложена последовательность выполнения и отдельные результаты научных исследований, полученных в процессе обучения в аспирантуре. Приведены результаты исследования свойств источников света. Рассмотрены источники света, предназначенные для специального применения. Представлены значения коэффициента корреляции между сглаженными значениями цен на светодиодные светильники и величинами их световых потоков. Приведены примеры специфического влияния освещения на организм человека.

Ключевые слова: диссертация; тема исследования; системы освещения; светодиодные источники света, анализ источников света

Введение

Одним из побудительных мотивов к поступлению в аспирантуру СЗРЦ ВКО «Алмаз – Антей» на обучение по специальности «Радиофизика» осенью 2017 года послужил перевод на работу в комплексный электротехнический отдел, где к обязанностям по разработке и внедрению схем электрических измерений добавились разработки схем управления различными видами двигателей и схем освещения, что потребовало освоения современного подхода к получению знаний и дальнейшей интенсификации процесса мышления. Обучение в аспирантуре стало дополнительным стимулом для глубоко изучения теоретических и практических положений, связанных с данными направлениями деятельности.

Тема диссертационного исследования «Методика организации проектирования систем освещения помещений специального назначения» выбрана с учетом необходимости решения задач по проектированию светодиодных (СД) систем освещения (СО) для изделий, выпускаемых АО «Обуховский завод».

Постепенно начали появляться первые образцы СД ИС, которые, помимо относительно высокой стоимости, обладали неизвестными на тот момент электрическими, механическими и эксплуатационными характеристиками.

Еще до аспирантуры началось внедрение в производство Федерального закона от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации», запретившего продажу и применение ЛН мощностью 100 Вт и более, что на практике означало потерю возможности приобретения значительного количества комплектующих для СО, при этом ситуация усугублялась прекращением поставок наиболее часто применяемых моделей светильников из Украины, отделившейся от России.

Перспективы применения светодиодных источников света представлялись очевидными благодаря исследованиям в процессе многолетней работы в лаборатории электрических измерений, где осуществлялось наблюдение за эволюцией светодио-

дов: от светящихся красных, желтых или зеленых точечных индикаторов, потреблявших около 10 мА от низковольтного источника постоянного тока, до первых образцов бытовых СД ламп с питанием от сети переменного тока 230 В, почти всегда имевших синий цвет свечения.

1 Исследование свойств источников света

После получения от научного руководителя команды «изучать все», началось исследование СД по различным направлениям: от американской монографии [1], сообщающей об обнаружении желтоватого свечения при протекании тока через карборунд SiC в 1907 г. и последовавшей череде исследований и многочисленных областей применения СД, до фундаментальных отечественных трудов [2, 3].

Если световая картина, создаваемая ЛН, вполне однозначна и может быть рассчитана с помощью единственной формулы [4, 5], то СД ИС создает достаточно сложный пространственный световой поток, свойства которого определяются свойствами и количеством установленных светодиодов, их относительным расположением, материалом и формой рассеивателя, установленного на ИС, а также свойствами окружающей среды.

В процессе совмещения научных и производственных интересов освоена программа *DIALUX*, позволяющая на основе *ies*-файлов, предоставляемых изготовителями СД ИС, выполнять моделирование световой картины помещения, что сразу же принесло ощутимый результат в работе: по итогам обнаружения уровней освещенности, создаваемых Прибором световым ПС01-100, изготавливаемым ПО «Протон», г.Орел, и подтверждения значений энергоэффективности данного ИС разработчиками, сразу же последовал вывод о необходимости отказа от применения Приборов световых серии ПС.

Пример сравнительной световой картины приведен на рисунке 1. Для получения изображения изолюксы (линии с одинаковым уровнем освещенности), создаваемой прибором ПС01-100, пришлось существенно уменьшить расстояние между всеми источниками света и освещаемой поверхностью. Два других СД ИС, участвующие в сравнении (BC8 и BC15), выпускаются ООО «Электролуч» г. Гагарин Смоленской области и применяются в изделиях АО «Обуховский завод».

Полученные расчетные результаты объясняются низким значением энергоэффективности светодиодов, устанавливаемых в ПС01-100 – около 7 лм/Вт [6], и значениями энергоэффективности более 100 лм/Вт у светильников серии BC [7], являющихся достаточными для применения в системах освещения объектов ВВСТ.

Дальнейшие исследования в программе *DIALUX*, включающие эксперименты с различными СД ИС, их пространственным расположением, режимами эксплуатации и т.п. показали сильную зависимость результатов от незначительного изменения начальных условий и получение близких результатов при существенном изменении влияющих факторов [4].

Переход к созданию точечных ИС и построению картин освещенности в программах *SmathStudio* и *MathCad* постепенно продемонстрировал отсутствие научности в подобных исследованиях, что подтверждается материалами [3, 4].

Исследования свойств СД ИС показали их подавляющее преимущество над ЛН и ЛЛ на большинстве этапов жизненного цикла изделий, что отражено в разработанной таблице 1.

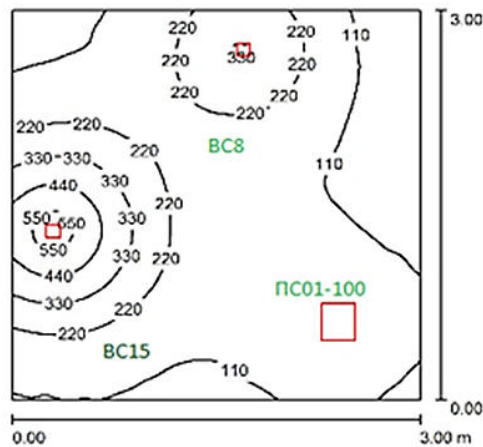


Рисунок 1 – Уровни освещенности поверхности светильниками ВС и ПС

Таблица 1 – Сравнительный анализ особенностей различных видов светильников на основных этапах жизненного цикла

| Этап жизненного цикла ИС | Светильники с ЛН | Светильники с ЛЛ | СД ИС |
|---|--|--|--|
| Выявление потребностей в светильниках | Простые и однозначные расчеты | Учет невозможности работы при низких температурах и исключение частых переключений | Огромное количество конструкций СД и их модификаций, необходимость учета всех требований к СД ИС на этапе выбора |
| Проектирование и разработка светильников | Учет КПД ЛН: 95% энергии выделяется в виде тепла | Исключение контакта ЛЛ с человеком, рекомендуется отраженный свет | Многовариантность технологий СД, модульный принцип |
| Разработка конструкторской и эксплуатационной документации схем освещения | Простые и однозначные расчеты | Учет значительного снижения светового потока ЛЛ к концу срока службы | Рекомендуется расчёт световой картины посредством ПК |
| Процесс производства светильников | От мелкосерийного до массового производства | От мелкосерийного до массового производства | Свободная компоновка из готовых модулей – от единичного до массового производства |
| Транспортировка светильников | Транспортировка ЛН отдельно от светильника | Отдельная транспортировка ЛЛ в спецупаковке | Большинство ИС – неразборные |

| | | | |
|---|--|--|--|
| Монтаж и эксплуатация | Затрудненный монтаж, частые замены ЛН с учетом их среднего срока службы 1000 часов | Аналогично светильникам с ЛН, возможна еще более частая замена ЛЛ | Удобный монтаж, большой срок службы от 30 000 до 100 000 часов; возможна полная замена СД ИС при выходе из строя одного из модулей |
| Замена отдельных светильников на светильники других моделей | Возможно несоответствие установочных размеров | Большое количество оригинальных способов крепления светильников, часто несовместимых между собой | Наиболее простая из всех видов светильников |
| Демонтаж и утилизация | С бытовым мусором | Специальные меры при утилизации ЛЛ из-за содержания ртути | С бытовым мусором |

При этом необходимо отметить, что в отдельных случаях специальных применений могут проявляться преимущества ЛН над СД ИС: например, при работе в условиях высоких температур, т.к. характеристики полупроводниковых СД существенно изменяются при повышении температуры (по всем мире ведутся постоянные работы над устранением данного недостатка).

2 Рассмотрение источников света, предназначенных для специального применения

В процессе изучения характеристик светильников выявлено, что зачастую модели ИС, предназначенные для специфических областей применения, обладают избыточным запасом по показателям, характеризующим вибропрочность, сохраняемость, степень пылевлагозащиты и т.п. относительно запланированных требований на оснащаемом системой освещения объекте, что неизбежно приводит к экономическим и временным потерям.

Учитывая сопутствующее значительное возрастание материалоемкости, трудоемкости и стоимости таких изделий, во избежание подобных ситуаций, предлагается осуществление систематизации учета характеристик светильников, предназначенных для применения в СО специального назначения.

Определенные в ходе исследования общие особенности и вытекающие из них проблемы систем освещения спецназначения сведены в таблицу 2.

СО, предназначенные для обеспечения заданных характеристик освещенности в каждом из родов войск, имеют свои специфические требования, обусловленные характером решаемых тактических и оперативных задач [8, стр. 84], что неизбежно сопровождается соответствующими перегрузками.

Одновременно следует принимать во внимание срок службы и срок хранения оснащаемого изделия, также сужающие диапазон вариантов пригодных к установке ИС.

Таблица 2 – Общие особенности и проблемы систем освещения специального назначения

| Особенности | Вытекающие проблемы |
|--|---|
| Малая площадь помещений, чаще всего – не более 12 м ² | Возможно применение светильников относительно небольшой мощности |
| Небольшая высота потолка, чаще всего – от 2,1 до 2,3 м | Проблемы электромагнитной совместимости источников питания с сетью электропитания; опасность ЭМИ из-за уменьшения расстояния до головы оператора, нагрев помещений в случае применения источников с высокой теплоотдачей (например, ЛН) |
| Наличие мебели, аппаратуры, людей | Принятая в светотехнике точность расчетов 10% практически недостижима |
| Работа в различное время суток | Влияние режима работы и свойств светового потока на здоровье операторов |

По результатам рассмотрения исходных данных выявлена тенденция, в соответствии с которой на фоне многообразия видов источников света и их технических реализаций, выбор источников света для применения в сфере ВВСТ с учетом всех специфических действующих факторов и ограничений затруднителен, обоснована необходимость создания методического аппарата, рассматривающего диапазон вопросов от классификации и учета различных видов ИС до систематизированного применения ИС в процессах конструирования, в том числе – на начальных этапах проектирования СО, при одновременном решении комплекса технологических, эргономических и экономических задач.

3 Итоги сравнительного анализа источников света

Учитывая многообразие требований к СО в области ВВСТ, разработана система классификации показателей светильников, сокращающая трудовые и временные затраты в процессе конструирования и изготовления СО. При разработке СО, в зависимости от сферы применения разрабатываемого изделия, предлагается изначально выявлять лидирующую группу показателей, позволяющую выполнить предварительную оценку показателей системы. Например, изделия, предназначенные для применения в космических войсках, будут обладать повышенными показателями надежности, что влечет за собой, соответственно, повышение их стоимости.

В процессе продолжения исследования совокупности характеристик известных типов светильников разработана таблица 3, содержащая усредненные эксплуатационные характеристики наиболее часто применяемых источников света, создающих приблизительно одинаковый световой поток. Под средней ценой при эксплуатации понимаются суммарные затраты на приобретение необходимого числа источников света без учета стоимости затраченной в течение 50000 часов электроэнергии и стоимости техобслуживания, включающего замену источников света.

Таблица 3 – Сравнительные эксплуатационные характеристики различных видов источников света

| Характеристики источников света | Лампа накаливания, 60 Вт | Люминисцентная лампа, 40 Вт | Галогенная лампа, 70 Вт, цоколь Е 27 | Компактная люминисцентная лампа (КЛЛ), 18 Вт | Светодиодная лампа, 10 Вт |
|--|--------------------------|-----------------------------|--------------------------------------|--|---------------------------|
| Коэффициент пульсаций, % | 14 | 45 | 13 | 8 | 1 |
| Энергоэффективность, лм/Вт | 10 | 50 | 18 | 60 | 105 |
| Срок службы, часов | 1 000 | 3 000 | 1 500 | 8 000 | 50 000 |
| Цена 1 шт., руб. | 30 | 100 | 110 | 160 | 300 |
| Средняя цена при эксплуатации в течение 50000 часов, руб. | 1500 | 1667 | 3667 | 1000 | 300 |
| Относительное потребление электроэнергии за 50 000 часов эксплуатации* | 10,5 | 2,1 | 5,83 | 1,75 | 1 |

* – потребление электроэнергии остальных видов ламп определено относительно энергозатрат светодиодной лампы.

Лепестковая диаграмма (рисунок 2) отражает наглядное сравнение основных характеристик различных видов источников света, подтверждая преимущество СД ИС над остальными массово доступными к применению в настоящее время ИС.

Если в начале работы в 2017 г. имелся ограниченный набор моделей СД ИС, то к 2021 году количество вариантов СД ИС, например, производства России, стало измеряться десятками тысяч различных моделей и сотнями предприятий-изготовителей, что привело к необходимости систематизации СД ИС, в частности – созданию базы данных [9], позволившей на ее основе осуществить комплексный учет требований к создаваемым СО.

4 Результаты математической обработки данных

Компьютерному исследованию подвергался сформированный массив данных [9], занесенный в программу *Microsoft Excel*. Изначально выдвинута гипотеза о наличии парных корреляционных зависимостей между величинами световых потоков I , лм и ценами на СД – C , руб., а также между величинами потребляемых мощностей P , Вт и ценами. С целью получения оценок значений тесноты парных связей проведен регрессионный анализ для парных зависимостей [10], входящих в полученную генеральную совокупность.

В процессе установления формы связи и построения уравнений регрессии в качестве факторного признака [11] последовательно принимались совокупности величин световых потоков и потребляемых электрических мощностей, результативным признаком в обоих случаях является заявленная стоимость.

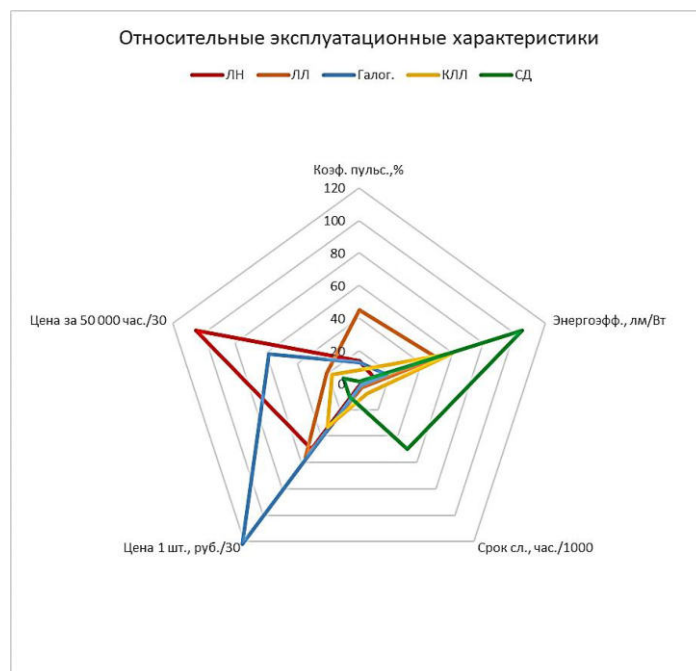


Рисунок 2 – Иллюстрация сравнения относительных эксплуатационных характеристик применяемых видов ИС

Первичная обработка данных выявила высокую загрязненность и зашумленность исходных данных, что не позволяет получить достоверную информацию [12].

Под загрязненностью исходных данных понимается информационное загрязнение (англ. *information pollution*) ресурсов неполной, противоречивой, малоценной или не относящейся к делу информацией. Например, для данного исследования – наличие данных об ИС, имеющих одну отличающуюся характеристику при остальных одинаковых характеристиках, отсутствие исследуемых характеристик для отдельных элементов.

Зашумленные данные – это данные с большим количеством дополнительной бессмысленной информации, называемой шумом. В понятие включаются любые данные, которые пользовательская система не может правильно понять и интерпретировать. Например, изменение стоимости отдельных элементов как результата снижения их качества или увеличение стоимости элементов вследствие добавления излишних сервисных функций.

В процессе решения задач фильтрации [10] получены графические зависимости, позволяющие решить задачи интерполяции и экстраполяции исходных данных (рисунок 3). Результаты сглаживания функции зависимости цен на СД от величин световых потоков, полученные в программе *Mathcad*, приведены на рисунке 4.

Значение коэффициента корреляции между сглаженными значениями цен на СД и величинами их световых потоков, полученное с помощью функции *corr*, равно 0,987, что позволяет считать результат сглаживания ценовой зависимости достоверным и осуществлять выбор ИС на основе полученных графических зависимостей в процессе проектирования СО, а также в необходимых случаях предъявлять требования к ценовой политике предприятий-изготовителей.

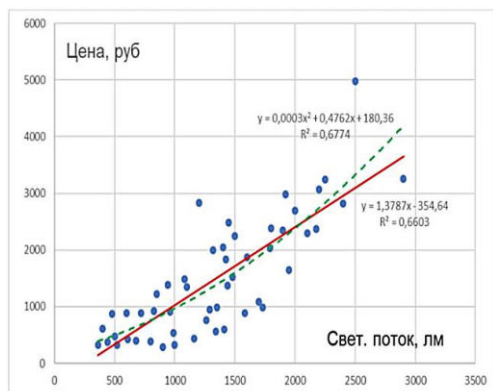


Рисунок 3 – Графики регрессионных зависимостей между значениями цен и величинами световых потоков СД ИС для усеченной совокупности данных

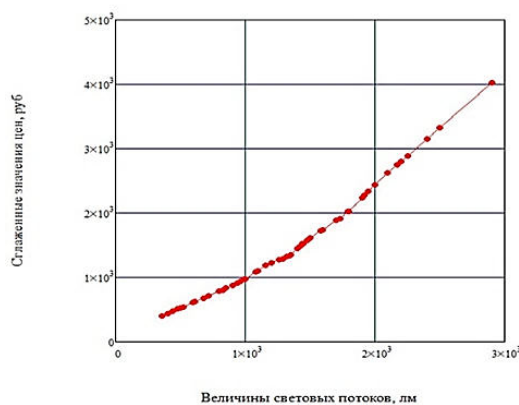


Рисунок 4 – Результаты сглаживания зависимости цен на СД ИС от величин световых потоков, полученные в программе *Mathcad*

5 Краткое описание разработанного методического аппарата

В процессе исследований после постановки задачи в части требований к проектируемым СО и к необходимым для проектирования данным, создана методика разработки систем освещения объектов ВВСТ, и, на ее основе, алгоритм выбора оптимальных элементов (рисунок 5) в процессе проектирования системы, для чего в диссертационном исследовании введено понятие и обоснован способ определения коэффициентов весомости показателей, основанный на сравнении значений характеристик выбранной модели ИС с характеристиками оптимального светильника, соответствующего решению частной задачи.

Условно за оптимальный принимается светильник, обладающий набором характеристик, наилучшим образом обеспечивающих решение конкретной задачи в соответствии с принятыми частными критериями и технологически осуществимый на рассматриваемый момент времени.

В качестве примера оптимального светильника рассматривается светильник, предназначенный для установки в СО малого стационарного помещения военного образца (таблица 4), функционирующего в нормальных климатических условиях, при отсутствии механических перегрузок.

Т а б л и ц а 4 – Примеры значений характеристик оптимального светильника

| Наименование характеристики | Значение |
|--|---------------|
| Энергоэффективность, лм/Вт | 170 |
| Коэффициент цветопередачи | 85 |
| Диапазон напряжений питания для однофазной сети ~ 230 В, 50 Гц | От 100 до 253 |
| Степень пылевлагозащиты в соответствии с ГОСТ 14254-2015 | IP 66 |
| Срок службы, лет | 10 |

Разработана последовательность циклического расчета характеристик проектируемой системы в программе *DIALUX* и способ определения экономического эффекта в случае применения алгоритма выбора элементов относительно полного числа расчетов для всех элементов из базы данных.

По итогам применения алгоритма выбора элементов из базы данных возможно, помимо определения стоимости проектируемой системы и экономического эффекта от применения алгоритма, формирование ранжинового ряда элементов применительно к решению частной задачи.

6 Влияние освещения на организм человека

На организм человека оказывают влияние все источники света (ИС), а не только созданные специально в медицинских целях. Помимо создания условий для рассмотрения окружающих объектов и положительного влияния, ИС могут создавать негативное воздействие [13]. Наибольшей степенью достоверности обладают эксперименты по созданию и исследованию длительного воздействия различных видов источников света на организмы людей, выполняющих идентичные действия в одинаковых условиях в режиме многолетнего круглосуточного наблюдения. При этом создание достаточно больших групп людей, имеющих одинаковые показатели здоровья, состояния всех систем организма и обеспечение их идентичных круглосуточных условий жизни крайне затруднительно, особенно с учетом отсутствия гарантии нанесения вреда состоянию здоровья испытуемых.

В процессе создания новых ИС изменяются требования к контролируемым свойствам световых потоков: например, 5-10 лет назад и более в экспериментах характеристики СД освещения не учитывались [14] или СД ИС разделялись только на «теплого света» и «холодного света», при том, что в настоящее время нормируются такие характеристики как цветовая температура, коэффициент пульсаций, коэффициент цветопередачи и т. п.

Глаз и весь организм человека приспособлены к жизни при освещении белым солнечным светом, цветовая температура которого изменяется в течение суток, в течение года, а также в зависимости от географической широты местности. Поэтому одной из важнейших характеристик качества светового потока является спектральный состав излучения, обеспечивающий суммарную цветовую температуру.

Если значительная часть первых СД имела цветовую температуру около 7000 К и синий цвет свечения, что отпугивало многих потенциальных потребителей, то за последнее время нижний диапазон «теплых» тонов свечения снизился с 2700 до 1500 К.

С учетом вышеизложенных факторов было принято решение об отказе экспериментов на людях в пользу изучения, анализа и систематизации результатов выполненных исследований не только на добровольцах, но и лабораторными методами на живых организмах [15].

На фоне спектров источников света различных видов на рисунке 6 отражены некоторые изученные негативные влияния излучений отдельных длин волн на организм человека. Излучения с длиной волны более 770 нм (исходящие от горячего стекла или расплавленных металлов) могут вызывать помутнение хрусталика или «катаракту стеклодува» [16, гл. 17].

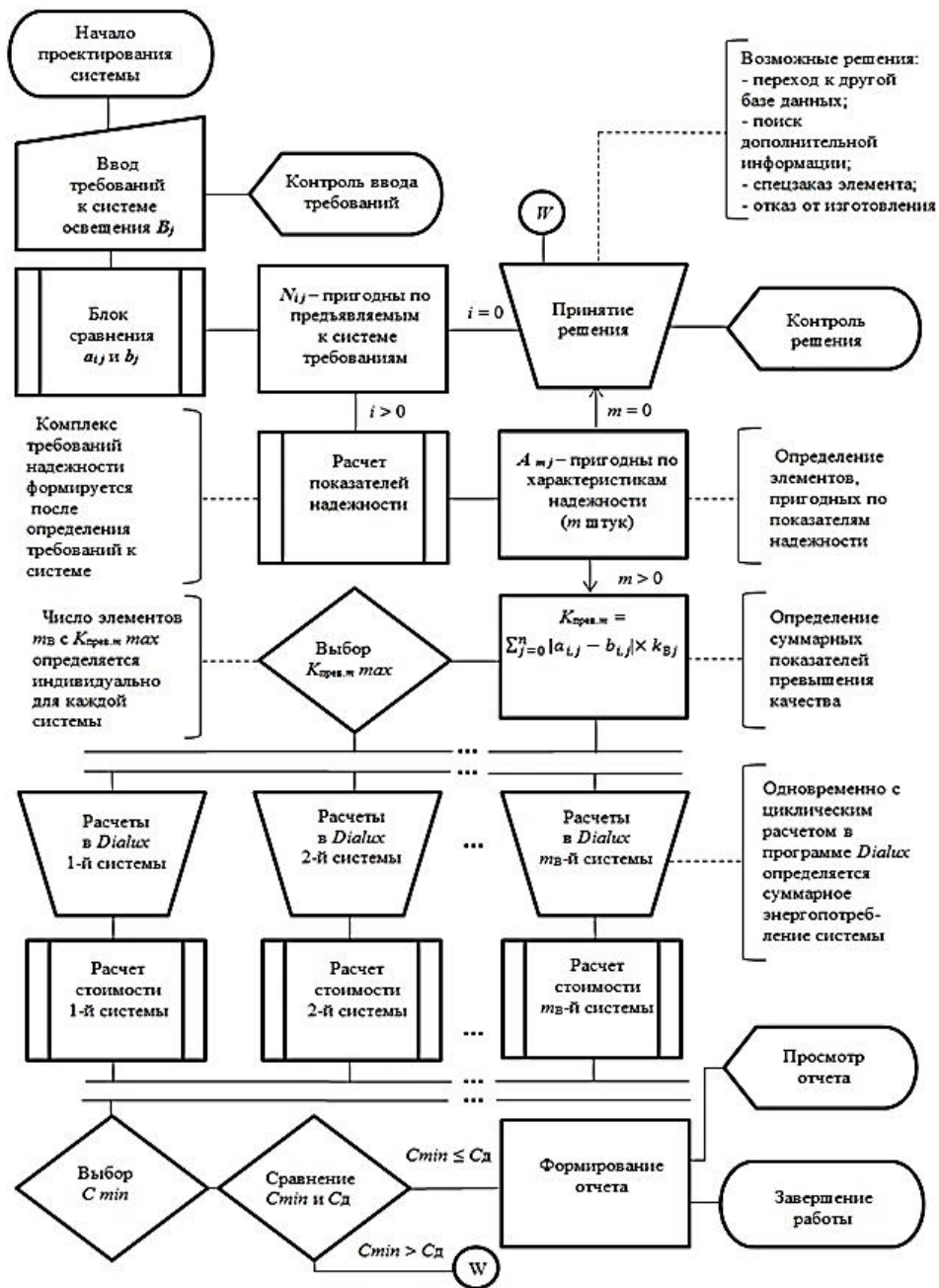


Рисунок 5 – Алгоритм выбора элементов из баз данных

Стандарт [17] рассматривает такие опасности светового излучения как электроофтальмия, возникающая от ультрафиолетовых лучей в диапазоне от 200 до 400 нм, светокератоконъюнктивит (при длине волн менее 320 нм с максимумом в области 270 нм), тепловая опасность, превосходящая в 10 раз опасность синего света, в зоне максимального воздействия от 435 до 440 нм, опасность инфракрасного излучения в диапазоне от 780 до 1400 нм.

Математическая обработка взаимосвязей основных характеристик стандартными методами регрессионного анализа показала значительную зашумленность и загрязненность исходных данных техническими и потребительскими характеристиками, влияющими на цену изделий.

Разработанный математический аппарат, включающий фильтрацию и сглаживание исходных данных, позволяет построение полиномов изменения основных характеристик, решающих задачи интерполяции и экстраполяции исходных данных, которые могут быть применены на этапах раннего проектирования систем.

Выполненные исследования обосновывают учет индивидуализированных комплексов требований к проектируемым системам освещения специальных объектов, учитывающих не только технико-экономические, но и эргономические показатели.

В ходе диссертационного исследования разработан методический аппарат, позволяющий формирование ранжируемого ряда элементов, из числа элементов, допущенных для комплектации разрабатываемых систем.

Таким образом, цель диссертационного исследования, заключающаяся в методическом обеспечении возможности изготовления систем освещения ВВСТ на требуемом уровне качества, оцениваемом практическим достижением имеющихся специальных норм освещенности и введением современных характеристик качества светового потока для объектов ВВСТ, при одновременном решении задачи максимально возможной экономии временных и материальных ресурсов, является достигнутой.

Литература

1 Шуберт Ф.Е. Светодиоды / Пер. с англ. под ред. А.Э. Юновича. – М.: Физматлит, 2008. – 496 с.

2 Справочная книга по светотехнике / Под. ред. Ю.Б. Айзенберга. – М.: Знак, 2006. – 972 с.

3 Айзенберг Ю.Б., Боос Г.В. Справочная книга по светотехнике. – М., 2019. – 892 с.

4 Васильева И.Е. Анализ методик моделирования картин освещенности поверхностей в малых помещениях военного назначения // Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2019. – № 4 (12). – С. 92-98.

5 Определение силы света лампы накаливания: Физический практикум / Самар. гос. техн. ун-т Сост. Л.А. Митлина, В.Ф. Костина. – Самара, 2016. – 11 с.

6 Световые светодиодные приборы спецназначения. Каталог АО Протон, Орел, – 2017. – 36 с.

7 ООО «Электролуч» <https://electroluch.com>.

8 Баушев С.В., Раскин А.В., Волгин В.А. Основы организации и ведения борьбы со средствами воздушно-космического нападения: учебное пособие. – СПб.: ООО «Издательство «Балтийская печать». – 2017. – 176 с.

9 Васильева И.Е., Сайбель А.Г. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2021622173.

10 Васильева И.Е., Сайбель А.Г. Определение взаимосвязей характеристик светодиодных светильников расчетными методами // Омский научный вестник. – 2021. – № 3 (177). – С. 49–53.

11 Ишханян М.В., Карпенко Н.В. Эконометрика. Часть 1. Парная регрессия: учебное пособие. – М.: МГУПС (МИИТ), 2016. – 117 с.

12 Fosson S. M., Cerone V., Regruto D. Sparse linear regression from perturbed data // Automatica. – 2020. Vol. 122. 109284. DOI: 10.1016/j.automatica.2020.109284

13 Капцов В.А., Дейнего В.Н. Нарушение меланопсинового эффекта сужения зрачка – фактор риска заболевания глаз //Анализ риска здоровью. – 2017. – №1. – С. 132-148.

14 Кучма В.Р., Сухарева Л.М., Текшева Л.М., Степанова М.И., Сазанюк З.И. Гигиенические аспекты применения светодиодных источников света для общего освещения в школах // Гигиена и санитария. – 2013. – Том 92. – № 5. – С.27-31.

15 Патент RU 2531051 Способ оценки воздействия искусственного света на функции нейтрофильных гранулоцитов периферической крови / Дата начала отсчета срока действия патента: 19.09.2013/ Долгушин И.И., Телешева Л.Ф., Осиков М.В., Гизингер О.А., Огнева О.И.

16 Федоров С.Н., Ярцева Н.С., Исманкулов А.О. Глазные болезни. Учебник для студентов медицинских вузов. – М., 2005. – 440 с.

17 ГОСТ Р МЭК 62471-2013 Лампы и ламповые системы. Светобиологическая безопасность. – М.: Стандартиформ, 2014. – 39 с.

18 Капцов В.А., Дейнего В.Н. Риски влияния света светодиодных панелей на состояние здоровья оператора //Анализ риска здоровью. – 2014. – № 4. – С. 37-46.

Васильева Ирина Евгеньевна – ведущий инженер-конструктор, АО «Обуховский завод», г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: светодиодные источники света, электроника, электрические измерения, теория управления двигателями, регрессионный анализ.

Email: vasilevagoz@mail.ru

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

LIGHTING IS SIMPLE!?

The sequence of implementation and individual results of scientific research obtained in the process of postgraduate studies are outlined. The results of studying the properties of light sources are presented. Light sources intended for special applications are considered. The values of the correlation coefficient between the smoothed prices for LED lamps and the values of their light fluxes are presented. Examples of the specific effect of lighting on the human body are given.

Keywords: dissertation; research topic; lighting systems; LED light sources, analysis of light sources.

Vasilyeva Irina Evgenievna - Leading Design Engineer, Obukhov Plant JSC, St. Petersburg. Research interests: LED light sources, electrical measurements, electronics, engine control theory, regression analysis.

ЦИФРОВЫЕ ПОРТРЕТЫ ИНТЕГРИРОВАННЫХ КОРПОРАТИВНЫХ СТРУКТУР

Галеев Э.Е.

Осуществлена классификация признаков для получения цифрового портрета корпорации. Предложено использование алгоритма кластеризации данных для построения цифровых портретов интегрированных корпоративных структур (ИКС), выделены ИКС используемые в оборонно-промышленном комплексе (ОПК).

Ключевые слова: оборонно-промышленный комплекс; цифровой портрет; организационная структура; интегрированная корпоративная структура.

Введение

Объединения промышленных предприятий, торговых фирм, банков, страховых компаний, пенсионных и инвестиционных фондов, крупных финансово-промышленных групп составляют основу высокоэффективной экономики ведущих стран и мирового хозяйства в целом.

В ОПК интеграционные процессы, способствующие восстановлению и развитию производственно-технологических связей, структурной перестройке, координации деятельности подотраслей и производств, являются фундаментом обеспечения эффективности производства и позволяют оптимизировать решение ресурсных и иных проблем предприятий-участников интеграционного взаимодействия.

Формирование и развитие в ОПК интегрированных корпоративных структур, ориентированных на научно-обоснованное сочетание производства гражданской и оборонной продукции, является фактором эффективной модернизации оборонно-промышленного комплекса страны за счет обеспечения повышения его инвестиционной привлекательности. Основной целью формирования ИКС в ОПК является получение синергетического эффекта [1]. Целью статьи является анализ современного состояния ИКС, формулирование признаков, присущих каждой ИКС, визуализация полученных результатов.

1 Сущность интегрированной корпоративной структуры

Устойчивое развитие ОПК связано с решением ряда задач стратегических изменений в структуре производства, выхода ИКС ОПК на новые рынки сбыта гражданской продукции. Выбор путей стратегического развития ИКС ОПК строится на основе учета объективных особенностей различных видов интегрированной корпоративной структуры ОПК. Учет особенностей различных видов ИКС ОПК при выборе путей стратегического развития требует разработки и использования специальной научной классификации корпораций ОПК. В современной экономической литературе представлены различные определения понятий «интегрированная корпоративная структура» [3]. Можно отметить, что им в той или иной мере присущи следующие признаки:

- юридическое лицо, от имени, которого функционирует бизнес (определенный юридический статус);
- правовое (институциональное) разграничение функций собственности и управления;
- коллегиальное принятие решений собственниками и наемными управляющими;
- имущественная обособленность, организационное единство.

Определение ИКС в интерпретации Храбровой И.А. [2] основано на учете специфики российских условий и предполагает выделение группы юридических лиц, образующих самостоятельный хозяйствующий субъект на основе имущественных связей, по своей сути корпоративную структуру. Необходимо отметить, что выделяются два класса корпоративных объединений:

- корпоративные структуры, в основе которых лежат договорные отношения между ее участниками (мягкая» форма корпоративных отношений);
- корпоративные структуры, в основе которых находится консолидации активов (имущественные связи), представляют собой «жесткую» форму корпоративных отношений.

В условиях современной российской правовой среды под данный подход попадают российские акционерные общества, имеющие обособленные юридически или хозяйственно самостоятельные подразделения. Это означает, что соответствующие современные российские акционерные общества (АО) можно рассматривать в качестве ИКС.

Таким образом, сущность ИКС выражается в единстве следующих свойств и отношений: это форма организации предпринимательской деятельности, предусматривающая долевое управление.

В российской теории и практике [2, 5] под ИКС чаще всего понимают объединение организаций (предприятий) различной организационно-правовой формы и сфер деятельности: промышленной, коммерческой, научно-технической, маркетинговой, средств массовой информации и др.

Обобщая результаты рассмотрения основных определений понятия «интегрированная корпоративная структура, примем следующую трактовку этого понятия: интегрированная корпоративная структура – это система юридически или хозяйственно самостоятельных предприятий (организаций), осуществляющих совместную деятельность на основе консолидации активов или договорных (контрактных) отношений для достижения общих целей [3].

В мировой практике сложились следующие формы интеграции компаний:

- стратегические альянсы,
- консорциумы,
- картели,
- синдикаты,
- ассоциации,
- конгломераты,
- тресты,
- концерны,
- холдинги,

- промышленные кластеры,
 - экосистемы,
- а в России дополнительно:

- Госкорпорации,
- Госкомпании,
- научно-производственные объединения,

которые условно можно разделить на две группы: жесткие и мягкие. К жестким организационным формам интеграции компаний относятся концерны, тресты, научно-производственные объединения, а к мягким – ассоциации, консорциумы, стратегические альянсы [4]. Так как не все формы интегрированных корпоративных структур подходят к процессам интеграции предприятий ОПК, рассмотрим основные формы корпоративных объединений, их достоинства, недостатки и возможность использования в процессах интеграции предприятий ОПК (таблица 1).

2 Предложения по формализованному описанию ИКС

Обязательными элементами комплексной оценки ИКС являются признаки, характеризующие принадлежность к той или иной ИКС. При этом оцениваются важнейшие процессы деятельности ИКС. Наличие комплексных оценок ИКС и их упорядочение позволяют осуществлять анализ внутренней среды применительно к предприятиям оборонно-промышленного комплекса, оценку и планирование результатов реструктуризации и реформирования. Итоговым результатом процедуры комплексной оценки исследуемых характеристик является определение группы ИКС, отвечающих исходным требованиям.

В результате глубокого анализа современной экономической литературы [2-5, 8] выявлена необходимость упорядочить и сгруппировать признаки характеризующие любую ИКС. Для этого впервые предлагается формализовать признаки, характеризующие принадлежность к ИКС. Сформирована совокупность 15 признаков, описывающих разные сферы деятельности ИКС, каждый признак характеризуется наличием 5 конкретных параметров (таблица 2), описанных в рамках нечеткой Байесовской классификации [13].

Для анализа и последующей кластеризации ИКС предлагается формализовать описание каждого вида ИКС следующим образом: каждому параметру присвоено числовое значение от 1 до 5. Данные представляют собой переведенные в числовую форму выбранные варианты параметров на каждый из 15 признаков.

Таким образом, мы получаем возможность представить каждую ИКС как 15-мерный вектор, элементами которого являются численные значения параметров

$$A_{(15)}^{(i)} = \langle 1, 2, \dots, i \rangle. \quad (1)$$

Оценим характеристики факторов каждой ИКС, для удобства сгруппируем их в 4 группы от жесткой формы к мягкой.

Построим 4 лепестковых диаграммы «Цифровые портреты ИКС».

| Организа- ционные формы интегра- ции ком- паний | Характеристика | Степень рас- пространен- ности | Примеры ИКС | Примеры ИКС в ОПК |
|--|---|--|--|--|
| Трест | <p>ИКС, в которой входящие в неё предприятия сливаются в единый производственный комплекс и теряют свою юридическую, производственную и коммерческую самостоятельность, а руководство их деятельностью осуществляется из единого центра [4]. Особенности трестов являются:</p> <ul style="list-style-type: none"> - это самая жесткая из всех рассмотренных форм интеграции компаний, - объединяются все стороны хозяйственной деятельности предприятий, - сравнительная производственная однородность деятельности, - объединяемые компании теряют свою юридическую, хозяйственную, производственную и коммерческую самостоятельность; - все предприятия подчиняются одной головной компании, осуществляющей единое оперативное руководство | Устаревшая форма. Не используется в РФ | | |
| Концерн | <p>ИКС (как правило, многоотраслевая) самостоятельных предприятий, связанных посредством системы участия в капитале, финансовых связей, договоров об общности интересов, личных уний, патентно-лицензионных соглашений, тесного производственного сотрудничества [8]. Особенности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - обычно является объединением производственного характера; - входящие компании номинально остаются самостоятельными юридическими лицами в форме акционерных или иных хозяй- | Наиболее распространенная и развита форма интеграции компаний, а также одна из самых слож- | Samsung, Volkswagen, «Газпром», «Нефтехим» | Концерн ВКО «Алмаз-Антей», концерн «Калашников» Концерн Созвездие», Концерн «Морское подводное оружие – Гид- |

| | | | | |
|--|--|--|---|--|
| | <p>ственных обществ, или товариществ, а фактически подчинены единому хозяйственному руководителю;</p> <p>- централизовано финансово-экономическое управление, проведение научно-технической политики, ценообразование, использование производственных мощностей, кадровая политика;</p> <p>- деятельность ориентирована в основном на производство, поэтому в качестве материнской (головной) выступает чаще всего производственная компания, которая является держателем контрольных пакетов акций дочерних предприятий;</p> | <p>ных форм ИКС</p> | | <p>роприбор»</p> |
| <p>Научно-производственное объединение</p> | <p>ИКС в виде единого научно-производственного и хозяйственного комплекса, в состав которого входят научно-исследовательские, проектно-конструкторские, технологические организации, опытные производства и заводы по серийному выпуску продукции [7].</p> <p>Объединяет промышленные предприятия и научно-исследовательские учреждения. Может формироваться на временной или постоянной основе, предназначается для реализации крупных инвестиционных программ, разработки и внедрения новых технологий и производства новой конкурентоспособной продукции оборонного и гражданского назначения</p> | <p>Часто используемая форма интегрированных корпоративных структур.</p> | <p>НПО «Сатурн»</p> | <p>АО "ВПК "НПО машиностроения", АО "НПО "СПЛАВ", ПАО «НПО «Алмаз»</p> |
| <p>Государственная корпорация</p> | <p>Некоммерческая ИКС, созданная для осуществления социальных, управленческих или иных общепользовательных функций, особенно в области права государственной корпорации устанавливаются федеральным законом [9].</p> <p>Создаются для содействия в разработке, производстве и экспорте высокотехнологичной промышленной продукции гражданского и военного назначения</p> | <p>Крупнейшая форма интегрированных корпоративных структур в РФ, объединяет холдинги, хол-</p> | <p>ГК «Ростехнологии», ГК «Росатом»</p> | <p>ГК «Роскосмос», ГК «Ростех»</p> |

| | | | | |
|----------|--|---|--|--|
| | | динги, отдельные предприятия ОПК и гражданской промышленности | | |
| Синдикат | <p>ИКС однородных промышленных предприятий, созданное в целях сбыта продукции через общую сбытовую контору (акционерного общества, общества с ограниченной ответственностью и т.п.), с которой каждый из участников синдиката заключает одинаковый по своим условиям договор на сбыт своей продукции [4].</p> <p>Особенности синдиката:</p> <ul style="list-style-type: none"> - сохранение участниками юридической, производственной, но ограничение коммерческой самостоятельности; возможность устранения внутренней конкуренции среди его участников; - централизация сбыта продукции, организация сбыта продукции его участников через единый сбытовой орган. <p>Форма синдиката наиболее распространена в отраслях с массовой однородной продукцией: горнодобывающей, металлургической, химической.</p> | В РФ запрещены антимонопольным законодательством [10]. | | |
| Картель | <p>ИКС, как правило, предприятий одной отрасли, которые вступают между собой в соглашение, касающееся различных сторон коммерческой деятельности компании — соглашение о ценах, о рынках сбыта, объемах производства и сбыта, ассортименте, обмене патентами, условиях найма рабочей силы и т.д. [4]. Особенности картеля:</p> <ul style="list-style-type: none"> - соглашение об образовании не всегда бывает оформлено до- | В РФ запрещены антимонопольным законодательством [10] | Международный нефтяной картель ОПЕК, банковский картель США Уолл-Стрит | |

| | | | | |
|--------------------|---|--|---|--|
| | <p>говором в письменном виде;</p> <ul style="list-style-type: none"> - фирмы, вступающие в картельное соглашение, сохраняют свою юридическую, финансовую, производственную и коммерческую самостоятельность; - это форма стовора группы производителей с целью полного или частичного уничтожения конкуренции между ними и получения монопольной прибыли | | | |
| <p>Конгломерат</p> | <p>ИКС, объединяющая под единым финансовым контролем целую сеть разнородных предприятий, которая возникает в результате слияния различных фирм вне зависимости от их горизонтальной и вертикальной интеграции, без всякой производственной общности [4]. Особенности:</p> <ul style="list-style-type: none"> - объединяемые компании не имеют ни технологического, ни целевого единства с основной сферой деятельности фирмы-интегратора; - объединяемые компании, как правило, сохраняют юридическую и производственно-хозяйственную самостоятельность, но оказываются полностью финансово зависимыми от головной компании; - значительная децентрализация управления; - в качестве основных рычагов управления конгломератами выступают финансово-экономические методы; - как правило, в структуре конгломерата формируется особое финансовое ядро, куда помимо холдинга (чистого холдинга) входят крупные финансовые и инвестиционные компании. <p>Основными способами образования конгломератов являются слияния и поглощения фирм различной производственной и коммерческой ориентации.</p> | <p>Данная форма интегрированных корпоративных структур часто используется в РФ</p> | <p>АФК «Система», «Яндекс», «Сбер», «Роснано»</p> | <p>крупнейшим российским конгломератом является ГК «Ростех», созданная в 2007 г.</p> |

| | | | | |
|---|--|---|--|---|
| Холдинг | <p>ИКС, в состав активов которой входят контрольные акции организации, независимо от её организационно-правовой формы. Холдинговая компания – это ИКС, владеющая контрольными пакетами акций или долями в паях других компаний для контроля и управления их деятельностью [4].</p> <p>Механизм контрольного пакета акций дает холдинговой компании право голоса, благодаря чему она получает возможность проводить единую политику и осуществлять единый контроль за соблюдением интересов больших конгломератов (корпораций, концернов, трестов) или ускорять процесс диверсификации.</p> <p>Размеры холдинга при этом могут быть намного меньше размеров подконтрольных фирм.</p> <p>Холдинговая компания – вершина пирамиды, составленной из дочерних компаний.</p> <p>В Российской Федерации холдинговые компании и их дочерние организации создаются только в форме акционерных обществ открытого типа. Холдинговая компания может быть дочерней в другой холдинговой компании (так называемые холдинговые компании второго порядка).</p> | Часто используемая форма интегрированных корпоративных структур в РФ | «Камаз», «Русагро», «Мечел», «Русал» | Силовые машины, ОСК, Трансмаш холдинг, Холдинг Транспортные компоненты |
| Производственный (промышленный) кластер | <p>ИКС в виде группы географически сконцентрированных взаимосвязанных компаний и институтов, функционирующих в определенной области и связанных между собой общностью и взаимодополняемостью [7].</p> <p>Стратегической целью создания кластера является формирование на территории региона РФ конкурентоспособного производственного комплекса, отвечающего современным задачам инновационного развития экономики России, в том числе для выхода в сжатые сроки на наиболее быстрорастущие мировые</p> | Относительно новая форма интегрированных корпоративных структур в РФ, начинается получать широкое распро- | «Санкт-Петербургский Кластер высоких Технологий Для Городской Среды», «Комплексная Переработка Угля И Техно- | Инновационный территориальный кластер ракетного двигателестроения «Технополис «Новый звездный» Пермский край, Инноваци- |

| | | | | |
|-------------------|---|--|--|---|
| | <p>рынки.</p> <p>Стандартный российский кластер имеет в своем составе около 70 участников (малые и средние предприятия, крупные компании, университеты, исследовательские организации, государственные структуры, бизнес-инкубаторы и технопарки). Кластер должен иметь программу и стратегию развития и регулярно их актуализировать</p> | странение | генных Отходов» Кемерово | онный территориальный кластер авиастроения и судостроения |
| <p>Экосистема</p> | <p>Экосистема – цифровая площадка, на которой клиент может приобрести различные товары и услуги (в том числе сторонних поставщиков) и получить синергетический эффект при их одновременном использовании (в том числе с продуктом «центра экосистемы») [12].</p> <p>Экосистема как совокупность участников –участники, взаимодействующие с организацией и прямо или косвенно участвующие в «цепочке ценностей» (ВУЗы, агенты по продаже товаров и услуг, сообщества), а также клиенты.</p> <p>Экосистема как площадка товаров и услуг (marketplace) – площадка, на которой предлагаются различные бесшовно интегрированные продукты и услуги, покрывающие максимально широкий спектр клиентских потребностей одного профиля.</p> <p>Экосистема как саморазвивающаяся организация – организация, использующая инновационные подходы к управлению и рассматривающие компанию как «живой организм».</p> <p>Эффект малого мира позволяет выделить в рамках общей инновационной экосистемы два кластера:</p> <ul style="list-style-type: none"> - экосистема знаний; - экосистема бизнеса. <p>В экосистему знаний входят организации, отвечающие за создание частных и общественных (коллективных) благ: научно-</p> | <p>Инновационная форма ИКС в РФ, начинается получать широкое распространение</p> | <p>компания «Мегафон», «МТС-банк», Яндекс.Такси; Яндекс.Еда; Яндекс.Деньги. Сбербанк [11].</p> | <p>В перспективе возможна в ОПК РФ на основе цифровых двойников предприятий</p> |

| | | | | |
|------------------------------|--|---|---|--------------------------------|
| | <p>исследовательские институты и образовательные учреждения. Экосистема бизнеса обычно представлена коммерческими предприятиями промышленного и торгового характера, а также финансовыми организациями.</p> | | | |
| <p>Стратегический альянс</p> | <p>ИКС образованная в результате соглашения о кооперации двух или более независимых фирм для достижения определенных коммерческих целей, для получения синергии объединенных и взаимодополняющих стратегических ресурсов компаний [4]. В качестве особенностей стратегических альянсов можно назвать: - это соглашения о сотрудничестве между фирмами, идущие дальше обычных торговых операций, но не доводящие дело до слияния компаний; - в рамках стратегических союзов осуществляется совместная координация стратегического планирования и управления участниками деятельности; создаются на основе горизонтальной межфирменной кооперации, а также между компаниями, занятыми в смежных сферах деятельности и обладающими взаимодополняющими технологиями и опытом; - как правило, не являются самостоятельными юридическими лицами; - достаточно подвижны, свободны для партнеров, они распадаются, когда необходимость в объединении отпадает; - оказывают влияние на конкуренцию: объединившиеся компании направляют усилия в большей степени против общих конкурентов, чем против друг друга; - это пока наименее ограничиваемые в законодательном порядке способы проникновения на рынок.</p> | <p>Наибольшее распространение в РФ получили альянсы с иностранными компаниями</p> | <p>«Илим Палл» и концерн «International Paper»; АвтоВАЗ и «Рено-Ниссан»; «Алроса» и «Де Бирс»</p> | <p>Не применяются в ОПК РФ</p> |

| | | | | |
|------------|---|---|---|---|
| Консорциум | <p>ИКС в виде временного союза хозяйственно независимых фирм, целью которого могут быть разные виды их скоординированной предпринимательской деятельности, чаще для совместной борьбы за получение заказов и их совместного исполнения [4].</p> <p>В качестве особенностей консорциумов можно назвать:</p> <ul style="list-style-type: none"> - организация консорциума оформляется соглашением; консорциум может создаваться с образованием и без образования юридического лица; - участниками не формируется никаких организационных структур, за исключением небольшого аппарата (например, совета директоров консорциума); - компании, входящие в консорциум, полностью сохраняют свою экономическую и юридическую самостоятельность, за исключением той части деятельности, которая связана с достижением целей консорциума; - зачастую являются бесприбыльными организациями; целью создания консорциумов является объединение усилий для реализации конкретного проекта; - компании могут одновременно входить в состав нескольких консорциумов, т.к. могут участвовать в осуществлении нескольких проектов. <p>Как правило создается для высококачественного исполнения срочных и дорогостоящих заказов и проектов, требующих консолидации усилий и средств научно-технических, производственных, обслуживающих и финансовых компаний, способных совместно решить поставленную задачу.</p> | Перспективная форма интегрированных корпоративных структур в РФ | Каспийский трубопроводный консорциум, Альфа-Групп, Национальный нефтяной консорциум | Международный консорциум «Объединенный промышленный комплекс» – постройка авианосца «Викрамадитья», бывший тяжёлый авианесущий крейсер «Адмирал Горшков» (ВМФ СССР) |
| Ассоциация | Добровольное объединение юридических или физических лиц для достижения общей хозяйственной, научной, культурной | Широко распростран- | РССП, Ассоциация банков | Предприятия ОПК могут вхо- |

| | | | | |
|--|--|---------------------------|----------------------------|--|
| | <p>или какой-либо другой, как правило, некоммерческой цели [4]. В качестве особенностей ассоциаций можно назвать: - это самая “мягкая” форма интеграции компаний, создаются в целях кооперации деятельности рекомендательного характера; - возможна централизация определенных функций, в основном информационного характера; - члены ассоциации сохраняют свою хозяйственную самостоятельность и права юридического лица; - ассоциация не отвечает по обязательствам своих членов; - члены ассоциации вправе безвозмездно пользоваться ее услугами; - члены ассоциации вправе по своему усмотрению выйти из нее по окончании финансового года;</p> | <p>ная форма ИКС в РФ</p> | <p>России, АКИТ, АКОРТ</p> | <p>дять в ассоциации : Ассоциация промышленных предприятий СПб, Российская ассоциация литейщиков</p> |
|--|--|---------------------------|----------------------------|--|

Т а б л и ц а 2

| Признаки | Параметры, характеризующие признаки | | | | |
|---|--|--|---|--|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| <p>Степень централизации производства в ИКС</p> | <p>Полная производственная самостоятельность предприятий ИКС</p> | <p>Предприятия сохраняют свою производственную самостоятельность, за исключением определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей</p> | <p>Предприятия финансово самостоятельные, но существуют косвенное производственной деятельности стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры</p> | <p>Предприятия имеют производственные подразделения, но общая производственная политика определяется централизованно головным производственным департаментом</p> | <p>Централизованное управление производственными мощностями предприятиями ИКС</p> |

| | | | | | |
|--|---|---|--|--|---|
| <p>Степень централизации маркетинговой и сбытовой политики в ИКС</p> | <p>Полная самостоятельность маркетинговой и сбытовой политики предприятий ИКС</p> | <p>Предприятия сохраняют свою коммерческую самостоятельность, за исключением определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей</p> | <p>Предприятия коммерчески самостоятельные, но существуют косвенное регулирование коммерческой деятельности подразделений со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры</p> | <p>Предприятия имеют коммерческие службы, но общая маркетинговая политика определяется централизовано головным коммерческим департаментом</p> | <p>Единый орган управления маркетинговой и сбытовой политикой</p> |
| <p>Степень централизации управления финансами в ИКС</p> | <p>Полная финансовая самостоятельность предприятий ИКС</p> | <p>Предприятия сохраняют свою финансово-экономическую самостоятельность, за исключением определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей</p> | <p>Предприятия финансово самостоятельные, но существует косвенное регулирование финансовой деятельности подразделений со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры</p> | <p>Предприятия имеют финансово-экономические службы, но общая финансовая политика определяется централизовано головным финансово-экономическим департаментом</p> | <p>Предприятия финансово несамостоятельные, существует единый орган управления экономикой и финансами</p> |
| <p>Степень централизации процесса учета в ИКС</p> | <p>Свой учет у каждого предприятия ИКС</p> | <p>Свой учет у каждого предприятия ИКС, за исключением учета определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей;</p> | <p>Свой учет у каждого предприятия, но существует косвенное регулирование учета со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры</p> | <p>Свой учет у каждого предприятия, но общие правила устанавливает головная структура</p> | <p>Единая система учета в ИКС</p> |

| | | | | | |
|---|---|---|--|---|--|
| Степень централизации процессов планирования в ИКС | Свой учет у каждого предприятия ИКС | Своя система бизнес планирования у каждого предприятия ИКС, за исключением бизнес планирования определенной части деятельности, которая связана с достижением конкретных целей; | Своя система бизнес планирования у каждого предприятия, но существует косвенное регулирование бизнес-планирования со стороны стоящей во главе ИКС управленческой структуры | Своя система бизнес планирования у каждого предприятия, но общие правила устанавливает головная структура | Единая система бизнес планирования в ИКС |
| Степень юридической самостоятельности объединяемых компаний | Полная потеря юридической самостоятельности | Образование отдельного юридического лица для достижения конкретных целей | Образование отдельного юридического лица на временной основе | Номинальная юридическая самостоятельность | Сохранение юридической самостоятельности |
| Наличие производственной общности объединяемых компаний | Отсутствие производственной общности | Производственная общность не является обязательной | Незначительная производственная общность | Значительная производственная общность | Наличие производственной общности |
| Степень объединения хозяйственной деятельности | Самостоятельная хозяйственная деятельность | Объединение хозяйственной деятельности для достижения конкретных целей | Объединение хозяйственной деятельности на временной основе | Своя хозяйственная деятельность у каждого предприятия, но общее управление ведет головная структура | Единое хозяйственное управление |
| Географический охват объединяемых компаний | Транснациональные | Межгосударственные | Национальные | Отраслевые | Региональные |

| | | | | |
|--|--|--|---|---|
| Возможность разработки КД на продукцию, проведение НИР и ОКР | Полное отсутствие соответствующих служб и технических возможностей | Возможность использования аутсорсинга соответствующих служб, но отсутствие технических возможностей (испытательного оборудования, помещений) | Наличие соответствующих служб, но отсутствие технических возможностей (испытательного оборудования, помещений) по аутсорсингу | Наличие соответствующих служб и технических возможностей |
| Полнота жизненного цикла продукции | Только продажа | Производство и продажа | Производство, продажа, эксплуатация, утилизация | Научные исследования, проектирование, производство, продажа, эксплуатация, утилизация |
| Степень единства представления и интерпретации данных в процессах информационного обмена между участниками | Единая информационная среда отсутствует | Объединение части процессов в единой информационной среде для достижения конкретных целей | Объединение части процессов в единой информационной среде на временной основе | Единая информационная среда |
| Степень предметной и технологической однородности изготавливаемой продукции | Неоднородность изготавливаемой продукции | Однородность изготавливаемой продукции при выполнении конкретных целей | Однородность изготавливаемой продукции на временной основе | Однородность изготавливаемой продукции |

| | | | | | |
|--|---|---|--|--|--|
| Степень государственного регулирования корпорации | Государственное регулирование отсутствует | Государственное регулирование для достижения конкретных целей | Государственное регулирование на временной основе | Государственное регулирование основных процессов | Полное государственное регулирование |
| Степень возможности иностранного капитала в корпорации | Иностраный капитал отсутствует | Незначительная доля иностранного капитала, меньше 10% | Умеренная доля иностранного капитала от 10 до 30 % | Значительная доля иностранного капитала от 30 до 50% | Контрольный пакет акций может быть у иностранного капитала |

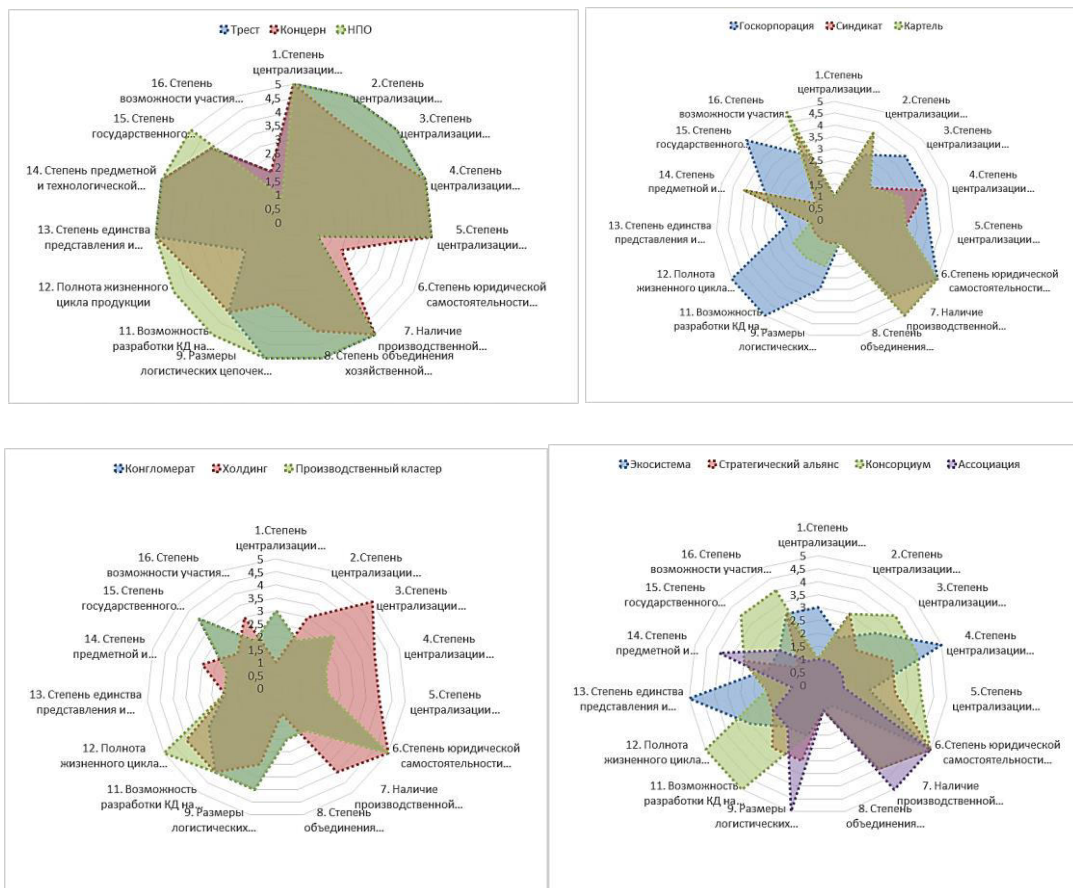


Рисунок 1 – Цифровые портреты ИКС

В результате анализа лепестковых диаграмм ИКС выявлены изменения:

- в жестких формах степень централизации управленческих бизнес процессов близка к максимальной, в мягких к минимальной;
- при жестких формах теряется юридическая самостоятельность предприятий;
- в мягких формах снижается роль государственного регулирования, увеличивается возможность использования иностранного капитала;
- падает степень объединения хозяйственной деятельности от жестких форм к мягким;
- падает степень предметной и технологической однородности изготавливаемой продукции от жестких форм к мягким.

Заключение

В результате проведенного автором исследования:

- рассмотрены основные виды ИКС и их применяемость для предприятий ОПК;
- предложены признаки, характеризующие принадлежность к той или иной ИКС;
- произведено сравнительное описание ИКС с единых методологических позиций;
- сформулирован расширенный перечень ИКС по отношению к обычно называемым;

- предложена модель представления ИКС в виде параметрического описания по 15 признакам с 5 градациями каждого; при этом каждая градация представляет собой описание аспекта на естественном языке, то есть в терминах нечеткой логики;

- выполнена визуализация полученных результатов в виде лепестковых диаграмм, сгруппированных в четыре класса по степени мягкости-жесткости;

- предложен дальнейший путь в направлении кластерного анализа, который должен подтвердить выводы статьи и содействовать дальнейшему научному исследованию ИКС;

- в ходе анализа выявлена применимость тех или иных видов ИКС для оборонного промышленного комплекса России.

В дальнейшем предполагается использовать алгоритм кластеризации данных. Кластерный анализ позволит сгруппировать переменные (показатели) в классы (кластеры) на основе единой меры, охватывающей ряд признаков и исследовать внутренние связи между наблюдениями [14].

Литература

1 Лапшин П.П., Хачатуров А.Е. Синергетический эффект при слияниях и поглощениях компаний // Менеджмент в России и за рубежом. – 2005. – №2. – С. 21-30.

2 Храброва И.А. Корпоративное управление: вопросы интеграции. Аффилированные лица, организационное проектирование, интеграционная динамика. – М.: Альпина, 2000. – 198 с.

3 Ливчин С.В., Цветцых А.В. Интегрированная корпоративная структура оборонно-промышленного комплекса: понятие и классификация // Менеджмент социальных и экономических систем. – 2017. – № 4. – С. 5-10.

4 Асаул А.Н. Организация предпринимательской деятельности. – СПб: АНО ИПЭВ, 2009. – 336 с.

5 Винслав Ю., Дементьев В. Мелентьев А и др. Развитие интегрированных корпоративных структур в России // Российский экономический журнал. – 1998. – № 11-12. – С. 7-15.

6 Ромашов А.В., Баранов В.В. Научно-производственные предприятия как форма интеграции науки и производств // Фундаментальные исследования. – 2009. – №1. – С.84-85.

7 Владимирова И.Г. Организационные формы интеграции компаний // Менеджмент в России и за рубежом. – 1999. – №6. – С. 34-42.

8 Porter M.E. Location, competition, and economic development: Local clusters in a global economy. *Economic development quarterly*, 14(1), 15-34, 2000. <http://dx.doi.org/10.1177/089124240001400105>.

9 Федеральный закон от 12.01.1996 № 7-ФЗ Статья 7.1.

10 Федеральный закон от 26.07.2006 № 135-ФЗ часть 1 статьи 2, статья 3.

11 Бизнес «умнеет» с «Мегафоном»: как оператор работает на рынке IOT // Финансовая газета. 25.12.2017. – С. 15.

12 Гайсина Д. Трансформация современных бизнес-моделей в сторону экосистем. Доклад. Шестая конференция «Проектирование бизнес-архитектур». 2017. Октябрь. Режим доступа: <http://www.businessstudio.ru/upload/iblock/7e6/%D0%93%D0%B0%D0%B9%D1%81%D0%B8%D0%BD%D0%B0.pdf>

13 Певнева А.Г., Обухов А.В., Зимовец А.И. Модель нечеткого байесовского классификатора для обработки информации // Современные наукоемкие технологии. – 2021. – № 12. – С. 78-83.

14 Ерошин С.Е. Обеспечение информационной поддержки принятия решений в корпоративном контуре управления объединений ОПК // Инновации и инвестиции. - 2021. – №12. – С. 60-67.

Галеев Эдуард Евгеньевич – аспирант, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.
Область научных интересов: организация производства, оптимизация сложных системы, классификация сложных структур.
Email: nos.rnv@goz.ru

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

DIGITAL PORTRAITS OF INTEGRATED CORPORATE STRUCTURES

A classification of signs was carried out to obtain a digital portrait of a corporation. The use of a data clustering algorithm for building digital portraits of integrated corporate structures (ICS) is proposed, ICS used in the military-industrial complex (MIC) are identified.

Key words: military-industrial complex; digital portrait; organizational structure; integrated corporate structure.

Galeev Eduard Evgenievich – post-graduate student, Obukhov Plant JSC, St. Petersburg.

Research interests: organization of production, optimization of complex systems, classification of complex structures.

АНАЛИЗ СОВРЕМЕННЫХ ПРИМЕРОВ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОМАГНИТНЫХ СИСТЕМ В НАВИГАЦИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

Жеребцов Н.В., Добряк Ю.С.

Рассматриваются и обобщаются примеры экспериментального применения магнитометрического оборудования и систем магнитной картографии, как дублирующей системы коррекции траектории полета летательного аппарата. Проводится анализ применения зарубежного и отечественного магнитометрического оборудования на предмет решения или сведения к минимуму недостатков современных систем навигации летательных аппаратов.

Ключевые слова: Геомагнитный метод навигации; бортовая навигационная аппаратура; магнитная картография; магнитное поле Земли; магнитометрического оборудования; магнитометр.

Введение

В реалиях последних событий, геополитической нестабильности залогом суверенитета каждого государства становится современный сильный военно-промышленный комплекс в экономике страны. Выявляются новые требования и запросы на летательные аппараты (ЛА), управляемые средствами радионавигации [1]. Навигационные системы неразрывно развиваются с применяемыми летательными аппаратами, и требования к качеству навигационного обеспечения повышаются с каждым годом. Сегодня известны различные методы навигации, подразделяемые в зависимости от природы используемых физических величин [2] на:

- радиотехнические (в т.ч. спутниковые), применяющие для навигационных целей временные, амплитудные, частотные, фазовые и другие характеристики электромагнитных излучений;
- оптические (инфракрасные и лазерные), применяющие естественные и искусственные источники света (небесные светила, лазерная подсветка, инфракрасные маячки и др.);
- акустические, использующие особенности распространения и отражения акустических волн при относительном движении объекта в навигационном пространстве;
- астрономические, определяющие координаты подвижного объекта с помощью пеленгования небесных светил;
- гравитационные методы, основанные на определенных свойствах гравитационного поля Земли;
- геомагнитные, использующие навигационные свойства нормального и аномального магнитного поля Земли.

1 Отличительные особенности геомагнитного метода навигации по сравнению с радиотехническими и оптическими методами навигации

Двадцатый век кардинально меняет представление о методах навигации – от звезд и маяков осуществлен переход к искусственным радиоконтрастным точкам с известными координатами, в качестве которых используются сверхдлинноволновые наземные станции и УКВ спутниковые системы, которые вытесняют остальные. Сегодня большинство современных ЛА используют автономные инерциальные системы управления, комплексированные с космическими навигационными системами (КНС) ГЛОНАСС и GPS [3]. Главным недостатком данных систем является высокие требования к подготовке и выверкам гироскопических систем и то, что орбитальная спутниковая группировка подвержена помехам, а в заданной зоне не всегда может оказаться необходимое количество спутников. Поэтому при всех достоинствах технологий, радионавигация по-прежнему имеет свои недостатки, которые возможно минимизировать при комплексировании с геомагнитными навигационными системами/

Т а б л и ц а 1 – Сравнение факторов работы навигационных систем ЛА в зависимости от вида используемого физического поля

| Факторы, учитываемые при использовании навигационной системы ЛА | Вид используемого физического поля | | |
|--|--|------------------------------|--|
| | Электромагнитное (L-диапазон спутниковой радиосвязи) | Магнитное | Электромагнитное (оптического диапазона) |
| Помехоустойчивость | Слабая | Сильная | Слабая |
| Необходимость радиовидимости спутниковой группировки | Необходимо | Отсутствует | Прямая необходимость видимости источника |
| Наличие мертвых зон | Есть | Отсутствует | Необходимость видимости |
| Стоимость применяемой аппаратуры | Высокая | Ниже приведенных к сравнению | Высокая |
| Возможность работы навигационной системы над землей и внутри помещений | Отсутствует | Есть | При наличии источника |

Данное сравнение подчеркивает перспективность принципов геомагнитных методов навигации. И данное направление уже имеет множество предложений и экспериментов.

2 Пример зарубежных разработок геомагнитных навигационных систем для ЛА

Сегодня ведущими странами, обладающими научным потенциалом в разработке магнитометрического оборудования и систем магнитной картографии, ведутся перспективные исследования и эксперименты в данной области.

В этом свете ярким примером проводимых исследований является предложение по разработке технологии навигации по картам магнитных аномалий Земли в 2016 году майора ВВС Аарона Дж. Канчиани, доцента кафедры электротехники технологического института ВВС США (AFIT). Данная военно-исследовательская программа получила название «MAGNAV». С сентября 2020 года и до сих пор продолжаются испытания, в ходе которых датчики и программное обеспечение «MAGNAV» установлены на учебный истребитель F-16 школы летчиков-испытателей ВВС (AFTPS) на испытательном полигоне базы ВВС США «Adwards» в Неваде.

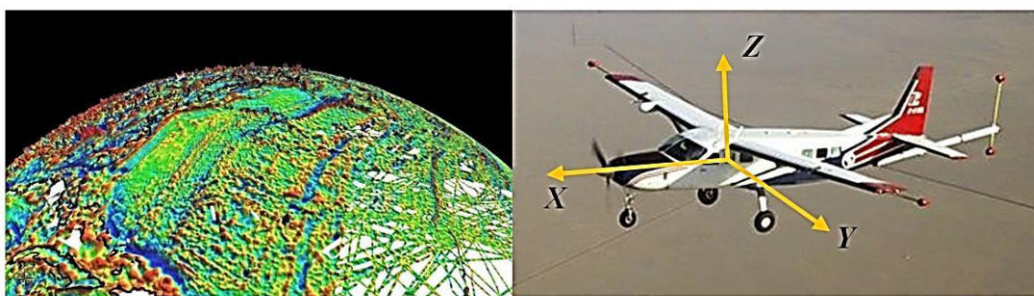


Рисунок 1 – Карта, показывающая вариации магнитного поля части земного шара, измеренные на стандартизированной фиксированной высоте над поверхностью ЛА, оборудованной магнитометрической аппаратурой [4,5]

Коллективом ученых проекта «MAGNAV» выделена проблема, состоящая в том, что данные о магнитном поле от магнитометра навигационной системы охватывают магнитное поле не только Земли, но и от транспортного средства, на котором она установлена. Общее магнитное поле ($H_{\text{ОМП}}$) представляет собой линейную суперпозицию магнитных полей ЛА ($H_{\text{ЛА}}$) и Земли ($H_{\text{МПЗ}}$) с дополнительно учтенными поправками от источников, возникающих в результате суточных колебаний и космической погоды, которые могут быть в значительной степени устранены с помощью наземных эталонных измерений [6]. Магнитометр сообщает скалярную величину вектора чистого магнитного поля, при которой трудно отделить величину поля земной магнитной аномалии, имеющей решающее значение для навигации, от величины общего магнитного поля навигации, полученной от датчика

$$H_{\text{ОМП}} = H_{\text{МПЗ}} + H_{\text{ЛА}}.$$

Система отсчета определяется относительно поперечных, продольных и вертикальных осей самолета, как показано на рисунке 1. Магнитное поле самолета включает в себя вклады от постоянного магнитного момента (P), индуцированного магнитного момента и вихревых токов самолета. Допускается, что постоянный дипольный момент и результирующее магнитное поле самолета статичны по отношению к системе координат, как и проекции на общее поле, определяемые косинусами направлений. Существенное различие состоит в том, что вихревые токи возникают из-за изменений в магнитном потоке через поверхности самолета, которые вносят свой вклад, пропорциональный производной по времени от косинусов направления (u_t) [7]. Таким образом величину общего магнитного поля можно записать в виде

$$H_{\text{ОМП}} = P_{\text{П}} + u_i P_{\text{ИММ}} + u_i H_{\text{ВТ}} + H_{\text{МПЗ}}$$

3 Отечественные исследования магнитометрической аппаратуры для геомагнитных навигационных систем

В отечественной научной среде также рассматриваются различные аспекты применения магнитного поля Земли, но описание конкретных экспериментов в области оснащения ЛА геомагнитными средствами навигации в открытой печати не присутствует. Но все необходимые предпосылки для этого существуют. Это доказывают исследования в данной области ведущих технических институтов и предприятий:

- к примеру, доклад Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета им. В.И.Ульянова (Ленина) «Применение геоинформационной технологии для мониторинга и оценки параметров окружающей среды» [8], где рассматриваются особенности геофизической картографии, в том числе для геомагнитной среды;

- исследование «Электромагнитные поля на движущемся транспорте» и «Определение параметров рыскания судна с помощью компонентных магнитометров» Санкт-Петербургского филиала Федерального Государственного Бюджетного Учреждения науки Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн им. Н.В.Пушкова РАН [9,10];

- а также наличие у отечественной промышленности необходимых магнитометрических приборов [11], таких как индукционные датчики. Они занимают особое место в группе высокочувствительных прецизионных магнитометров, предназначенных для измерения слабых магнитных полей. Основным свойством, привлекающим потребителей этого магнитометрического оборудования, является простота и надёжность конструкции, что позволяет использовать данный тип магнитометра в очень сложных условиях эксплуатации.



Рисунок 2 – Индукционные магнитные датчики IMS-007 [10]

Конструктивно индукционный датчик представляет собой катушку индуктивности с сердечником из ферромагнитного материала в одном корпусе вместе с предварительным усилителем. Для уменьшения собственных шумов за счёт тепловых потерь от эффекта токов Фуко конструкция сердечника выполнена из многослойного ферромагнитного материала.

Заключение

Таким образом применение магнитометрического оборудования и систем магнитной картографии, как дублирующей системы коррекции траектории полета, потенциально позволяет обеспечить необходимые пределы точности при коррекции полета ЛА в условиях потери сигнала спутниковой группировки и плохой оптической видимости.

Опубликованные результаты измерений в рамках разработки корреляционно-экстремальной навигационной системы, определяющей ошибку в координатах по снимаемому магнитометрическому изображению поля местности, основанной на снятии показаний магнитометра и удалении магнитного поля самолета, свидетельствуют о перспективности данного направления исследований. Анализ отечественных публикаций позволяет утверждать, что для проведения аналогичных экспериментальных исследований сформирована необходимая научно-техническая база.

Литература

1 Сильников М.В., Карпович А.В., Лазоркин В.И., Вишняков С.М., Пестерев С.Н., Цвятко К.Н. Научно-методическое обоснование способов применения беспилотных летательных аппаратов для разведки и поражения целей. – СПб: 2022. – 412 с.

2 Желамский М.В. Электромагнитное позиционирование подвижных объектов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2013. – 320 с.

3 Бартенев В.А., Красильщиков М.Н. Современные и перспективные информационные ГНСС – технологии в задачах высокоточной навигации. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2014. – 191 с.

4 Aaron J. Canciani. Absolute Positioning Using the Earth's Magnetic Anomaly Field. PhD thesis, Air Force Institute of Technology, 2016.

5 Schweber В. к эл. адресу: <https://www.rlocman.ru/review/article.html?di=633999>

6 Иванов В.В. О суточных вариациях магнитного поля Земли // Материалы научно-практического семинара «Исследование магнитного поля Земли как фактор прогресса национальной безопасности России» 12 мая 2022 года. Санкт-Петербург, 2022.

7 Sander Geophysics Ltd. High resolution magnetic gradiometer surveys, 2020.

8 Минина А.А., Жданова Е.Н. Применение геоинформационной технологии для мониторинга и оценки параметров окружающей среды // Материалы научно-практического семинара «Исследование магнитного поля Земли как фактор прогресса национальной безопасности России» 12 мая 2022 года. Санкт-Петербург, 2022.

9 Исмагилов В.С., Копытенко Ю.А. Электромагнитные поля на движущемся транспорте // Материалы научно-практического семинара «Исследование магнитного поля Земли как фактор прогресса национальной безопасности России» 12 мая 2022 года. Санкт-Петербург, 2022.

10 Иванов С.А. Определение параметров рыскания судна с помощью компонентных магнитометров // Материалы научно-практического семинара «Исследование магнитного поля Земли как фактор прогресса национальной безопасности России» 12 мая 2022 года. Санкт-Петербург, 2022.

11 Горьков С.Н. Индукционные магнитные датчики (ims-007 – ims-011) к эл. адресу: <https://rusgeology.ru/services/intellektualnye-uslugi/mashinostroenie/oborudovanie-dlya-neseysmicheskikh-metodov-geologorazvedki/>

Жеребцов Николай Валентинович – кандидат технических наук, доцент, ФГК ВОУ ВО «Михайловская военная артиллерийская академия», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигационные системы и комплексы, радиопередающие устройства.

E-mail: dobryak.ys@gmail.com

Добряк Юрий Сергеевич – слушатель, ФГК ВОУ ВО «Михайловская военная артиллерийская академия», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигационные системы и комплексы, радиопередающие устройства.

E-mail: dobryak.ys@gmail.com

THE ANALYSIS OF THE USE OF GEOMAGNETIC SYSTEMS IN NAVIGATION WHEN USING AIRCRAFT

The issue of using magnetometric equipment and magnetic cartography systems as a duplicate system for correcting the flight path of an aircraft is considered. The analysis of the factors of the aircraft is carried out for the possibility of solving or minimizing their negative consequences, by use of geomagnetic navigation systems.

Keywords: geomagnetic systems, aircrafts navigation equipment, magnetic cartography, earth's magnetic field, magnetometric equipment, magnetometer.

Zherebtsov Nikolay Valentinovich – Candidate of technical sciences, Docent, Mikhailovsky military artillery academy, St. Petersburg city.

Research interests: radio navigation systems and complexes, radio transmitting devices.

Dobryak Uriy Sergeevich – listener, Mikhailovsky military artillery academy, St.Petersburg city.

Research interests: radio navigation systems and complexes, radio transmitting devices.

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ СОИСКАТЕЛЯМ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Волгин В.А., Марченко Б.И., Сайбель А.Г.

Статья адресована сотрудникам предприятий ОПК, осуществляющим диссертационные исследования в сфере своей профессиональной деятельности. Содержит материалы, предназначенные для оказания методической помощи молодым ученым при выборе и формулировании темы диссертационных исследований. Приведенные рекомендации и определения призваны систематизировать деятельность исследователя и снизить риски выполнения непродуктивных действий при подготовке и защите диссертации.

Ключевые слова: аспирантура; диссертация; научная задача; тема диссертации; цель исследования; объект исследования.

Введение

Научно-образовательный центр акционерного общества «Северо-Западный региональный центр Концерна ВКО «Алмаз – Антей» – Обуховский завод» в 2016 году приступил к осуществлению подготовки специалистов высшей квалификации в заочной аспирантуре. Ретроспективный взгляд на формирование, становление и эволюцию образовательной деятельности позволяет выявить общие проблемные вопросы, определить приоритеты и сформулировать систему взглядов на ближайшее будущее и среднесрочную перспективу. Целью статьи является изложение некоторых результатов воплощения организационных решений по внедрению системы подготовки специалистов высшей квалификации на предприятии оборонно-промышленного комплекса (ОПК) с акцентированием внимания к вопросам оценки результативности образовательной деятельности.

Представляемый материал предназначен для формирования объективного видения современного состояния и тенденций развития системы подготовки кадров во вневузовской структуре и призван оказать методическую помощь аспирантам и соискателям в подготовке научно-квалификационной работы.

Траектория развития отечественного ОПК на протяжении последних десятилетий претерпела существенные нелинейные преобразования, обусловленные фундаментальными изменениями в общественно-политическом устройстве страны, приведшим к изменениям общественно-экономических отношений в обществе, сдвигам в экономике и производстве. Постперестроечное стремительное падение производства в ряде отраслей промышленности, в том числе в ОПК, привело к необратимым кадровым потерям, в значительной мере среди специалистов высшей квалификации.

В современной парадигме развития страны сформировано понимание, что для успешного развития предприятий ОПК помимо квалифицированных исполнителей и грамотных управленцев требуются специалисты, способные самостоятельно в условиях постоянно изменяющихся задач и условий функционирования генерировать и

формулировать задачи управления и модернизации предприятий, управлять деятельностью творческих проектных коллективов на протяженных временных интервалах, определять стратегию развития на различные периоды в быстроменяющихся ограничениях, накладываемых внешней обстановкой.

Дефицит кадров [1], обладающих широким спектром необходимых компетенций заданного уровня, требует постановки и поиска решений совокупности вопросов, включающих такие, как: где взять специалистов, почему их не хватает. Частично ответы на такие вопросы состоят в том, что в большинстве высших учебных заведений система подготовки выпускников ориентируется на освоение образовательной программы без учета специфики предприятий, потенциально являющихся работодателями выпускников. Большинство предприятий, принимая новых сотрудников, возлагает ответственность за доподготовку к выполнению функциональных обязанностей на коллег и непосредственных начальников. Возникший к концу прошлого века разрыв поколений привел на сегодняшний день к критическому положению, формирующему непреодолимый коммуникационный барьер при передаче опыта от сотрудников, представляющих предыдущую формацию, представителям нового поколения.

Современные требования к специалистам высшей квалификации определяют, что он должен иметь несколько базовых компетенций. В первую очередь – уверенно владеть информацией о воззрениях предшественников, накопленным опытом и пониманием сути процессов функционирования и развития промышленных предприятий.

Второй составляющей должны быть навыки сбора и анализа информации, без чего невозможно понимание особенностей текущего момента и конкретного предприятия.

В третьих, необходимо иметь умения и навыки владения инструментами прогнозирования, основанными на выявлении и корректном использовании функциональных и статистических закономерностей, в том числе на основе имитационного моделирования.

Поскольку предприятия ОПК ориентированы на разработку и выпуск вооружения, военной и специальной техники, то участники, и особенно организаторы процессов проектирования и разработки технологий изготовления инновационных образцов техники должны обладать широким кругозором в области современных вооружений, знать принципы и особенности их применения в различных условиях, уметь анализировать тенденции развития техники и выполнять задачи проектирования в расчете на опережающие требования к образцам вооружения.

Итоговые характеристики систем и комплексов вооружения в существенной мере определяются органичным сочетанием приверженности принципам построения систем и способам их применения с техническими характеристиками узлов и устройств, входящих в их состав.

Технические решения, принимаемые разработчиками, должны базироваться на глубоком понимании физических процессов, лежащих в основе реализуемого функционала. Для обеспечения такого требования необходимы специалисты, владеющие широким техническим кругозором, опирающимся на надежный теоретический фундамент, способные планировать и проводить вычислительный и физический эксперименты, анализировать большие данные и временные ряды, в том числе окрашенными шумовыми компонентами.

Опираясь на представленную аргументацию на территории производственной площадки, объединяющей несколько научно-исследовательских, проектных и производственных предприятий (СЗРЦ), в 2014 году были определены планы создания научно-образовательного центра (НОЦ), сформулированы его миссия и задачи, назначены исполнители для реализации замысла и сформированы временные и целевые показатели, требуемые к достижению [2].

1 Законодательный базис и статистические результаты функционирования аспирантуры

Основной формой подготовки научно-педагогических и научных кадров является аспирантура, обучение в которой ориентировано на подготовку специалистов высшей квалификации, имеющих навыки выполнения научных исследований в интересах предприятий – организаторов аспирантуры и способных ставить и решать научные и научно-прикладные задачи.

Основные усилия учебного процесса в аспирантуре направлены на выработку навыков аналитической работы, формирование научного стиля мышления, развитие самостоятельности, трансформацию знаний о тенденциях развития современных технологий и понимания их содержания, развитие способности видеть перспективы эволюции сложных образцов вооружения, военной и специальной техники.

В настоящее время в аспирантуре обучаются 34 сотрудника АО «Обуховский завод», АО «ЗРТО», АО «РИРВ» и АО «ВНИИРА», а также прикрепленные к аспирантуре без освоения программ подготовки научных и научно-педагогических кадров. Обучение осуществляется по программам четырех научных специальностей: 1.3.4. Радиофизика; 2.5.14. Радиолокация и радионавигация; 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства и 6.2.4. Вооружение и военная техника.

Подготовку кадров высшей квалификации в аспирантуре осуществляет штатный профессорско-преподавательский состав (4 доктора и 3 кандидата наук) и работающий на договорной основе (3 доктора и 7 кандидатов наук) со стажем научно-педагогической деятельности более 15 лет.

В конце 2021 года законодательно закреплён ряд изменений в системе подготовки научных и научно-педагогических кадров. В частности **отменена заочная форма обучения**, кроме аспирантур силовых структур и организаций государственных органов.

В соответствии с действующими требованиями изменяется порядок:

- приема на обучение по образовательным программам высшего образования – программам подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре;
- подготовки научных и научно-педагогических кадров. Сроки подготовки в очной аспирантуре **уменьшились на один год** по сравнению с заочной. Введен порядок сопровождения лиц, успешно прошедших итоговую аттестацию по программам аспирантуры при представлении ими диссертации к защите в течение не более **одного календарного года** после завершения освоения программы аспирантуры;
- прикрепления к образовательным организациям высшего образования и научным организациям для подготовки диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук без освоения программ подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре. Срок прикрепления увеличен **с одного года до трех**.

С 1 марта текущего года федеральные государственные образовательные стандарты **заменены федеральными государственными требованиями** (Приказ Минобрнауки РФ от 20 октября 2021 года № 951).

Программы подготовки научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре **не подлежат государственной аккредитации**.

Поступившие в аспирантуру получают отсрочку от призыва на военную службу, а имеющие учёную степень освобождаются от призыва на военную службу (пункт 2 статьи 24, пункт 2 статьи 23 Федерального закона от 28 марта 1998 года № 53-ФЗ «О воинской обязанности и военной службе»).

Направления подготовки научных и научно-педагогических кадров отменены. Вместо них введены научные специальности, для которых разработаны новые паспорта научных специальностей.

Паспорта научных специальностей 1.3.4. Радиофизика и 2.5.14. Радиолокация и радионавигация практически не изменились, а паспорта научных специальностей 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производства и 6.2.4. Вооружение и военная техника претерпели изменения, так как эти специальности укрупнены за счет объединения ряда специальностей предыдущего перечня. Однако в новой редакции научные специальности стали для наших соискателей лучше. В частности, в научной специальности 2.5.22. помимо организации производства появились вопросы управления качеством продукции и стандартизация, с которыми соискатели вплотную сталкиваются при разработке диссертации по организации производства. В паспорте научной специальности 6.2.4. Вооружение и военная техника появились вопросы Государственной программы вооружения и Государственного оборонного заказа, что непосредственно связано с профессиональной деятельностью соискателей.

В соответствии с приказами Минобрнауки РФ от 24 февраля 2021 года № 118 и от 15 сентября 2021 года № МН-3/7114 ДСП изменена номенклатура научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени.

По окончании аспирантуры теперь выдаётся не диплом, а **свидетельство** (Постановление Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021 года № 2122).

В соответствии с новыми документами организовывать подготовку кадров высшей квалификации можно двумя путями:

- **с освоением программы аспирантуры** – обучение в очной аспирантуре и сопровождение после завершения обучения по программе аспирантуры **до одного календарного года**;

- **без освоения программы аспирантуры** – прикрепление к АО «Обуховский завод» до шести месяцев для сдачи кандидатских экзаменов и до трех лет для завершения написания диссертации.

С паспортами специальностей можно ознакомиться на сайте и в аспирантуре АО «Обуховский завод».

За истекший период 10 аспирантов (50% от числа поступивших) успешно защитили выпускные квалификационные работы.

На пути к защите НКР обучаемые в вечерней форме освоили 12 учебных дисциплин, большая часть из которых обеспечена учебной литературой, подготовленной с учетом специфики деятельности наших аспирантов, прошли педагогическую и

научно-исследовательские практики, самостоятельно выполнили исследования, в рамках которых получили новые научные результаты, что подтверждается 20 публикациями в ведущих рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК, подано 3 заявки на изобретения, по одной из которых уже получен патент, зарегистрировано в ФСИС две программы для ЭВМ и база данных.

В настоящее время диссертационный совет принял к защите две диссертации наших выпускников, и все сотрудники аспирантуры с нетерпением ожидают первых полноценных результатов ее работы.

2 Памятка соискателю по работе над диссертацией

(разработана д.т.н. профессором Марченко Б.И. на основе собственного опыта работы в диссертационных советах и научного руководства кандидатскими диссертациями)

Нужно помнить, что диссертация – это научный труд, а не работа типа рационализаторского предложения. Если в работе фигурируют какие-то конкретные образцы техники, то это допустимо только в качестве демонстрации применения к ним предлагаемых автором научных разработок. Диссертационная работа не должна терять актуальности при смене одних образцов техники на другие, более современные. Ценность работы в её научной значимости.

Основные научные термины, которые необходимо знать диссертанту:

Наука – система знаний о закономерностях в развитии природы, общества и мышления, а также отдельная отрасль таких знаний. Это область человеческой деятельности, направленная на выработку и систематизацию объективных знаний о действительности. Основой этой деятельности является сбор фактов, их постоянное обновление и систематизация, критический анализ и на этой основе синтез новых знаний, доведенных в конечном итоге до формулировки и формализации законов природы или общества.

Факт – наблюдаемое явление, которое стимулирует разработку какого-либо научного направления (правда, не у каждого индивидуума удар яблоком по голове вызовет всплеск научной мысли). Любое научное направление ведет отсчет от факта. Наука начинается с факта. Изучение фактов позволяет сформулировать закономерности.

Закономерность – наблюдаемая устойчивая зависимость между событиями или явлениями. Изучение закономерностей помогает сформулировать закон.

Закон – вербальное и (или) математически выраженное утверждение, имеющее доказательство (в отличие от *аксиомы*), которое описывает соотношения, связи между различными научными понятиями, предложенное в качестве объяснения фактов и признанное на данном этапе научным сообществом. Закон, справедливость которого была установлена не из теоретических соображений, а из опытных данных, называют эмпирическим.

Теория – понятие близкое к понятию «наука», на практике – это раздел какой-либо науки. Такие понятия как, например, «научное обоснование» и «теоретическое обоснование» являются синонимами. Наука – это более широкое понятие, чем теория.

Объект исследования – это то, что мы исследуем (например, пусковая установка ракет). Объект, как правило, – материален.

Предмет исследования – это направление исследования. Известна фраза: «На какой предмет Вы исследуете Ваш объект?». Например, ракетный комплекс можно

исследовать на предмет эффективности боевого применения, а можно и на предмет стоимости производства и эксплуатации. Часто предметом исследования является выявление закономерностей влияния тех или иных факторов на конечный результат. Предмет исследования – идеален.

Методика – готовый «рецепт», алгоритм, процедура для проведения каких-либо нацеленных действий, представляющая собой совокупность подходов, методов, приемов выполнения какой-либо деятельности. Довольно часто разработанная диссертантом методика является одним из выносимых на защиту научных результатов.

Метод – в переводе с греческого – «общий путь». Это совокупность основных способов получения новых знаний. Например: анализ, синтез, индукция, дедукция, гипотеза, формализация, идеализация, моделирование, эксперимент, наблюдение, измерение и др.

Способ – действие или система действий, помогающих (пособляющих) выполнить какую-либо работу. Например, сбор и обработка интересующей исследователя информации в случаях применения методов анализа или эксперимента.

Научный результат – продукт научной и (или) научно-технической деятельности, содержащий новые знания или решения и зафиксированный на любом информационном носителе. Каждый выносимый на защиту научный результат должен быть отражен не только в тексте диссертации, но и обязательно (!) опубликован в рецензируемом сборнике ВАК.

Модель – это объект-заместитель объекта-оригинала, инструмент для познания, который исследователь ставит между собой и объектом и с помощью которого изучает некоторые свойства оригинала. В качестве модели выступает другой материальный (физическая модель) или мысленно представляемый (математическая модель) объект. Модель создается в случаях, когда проводить исследования на объекте-оригинале по каким-то причинам невозможно, либо экономически невыгодно. Соответствие свойств модели исходному объекту характеризуется адекватностью. Процедура проверки и результат проверки модели на адекватность должны содержаться в тексте диссертации.

Моделирование – метод исследования объектов на их моделях, построение и изучение моделей реально существующих объектов, процессов или явлений с целью получения объяснений этих явлений, а также для предсказания явлений, интересующих исследователя.

Имитационное моделирование – разновидность математического моделирования, это экспериментирование с моделью реальной системы путем проведения машинных экспериментов. Обычное математическое моделирование проводится однократным прохождением алгоритма целенаправленных действий, даже в случае вероятностного характера действующих факторов, при известных характеристиках случайных событий (математическое ожидание, дисперсия, коэффициенты корреляции и пр.). Переход к имитационному моделированию производится, когда неизвестны законы распределения и характеристики случайных событий, когда неясно, коррелированы между собой факторы, влияющие на конечный результат или нет. Имитационная модель объекта – это по сути «черный ящик» даже для разработчика модели. Поэтому на имитационной модели производится многократный «прогон» исследуемого процесса, определяется значение целевой функции (мат. ожидание и дисперсия) и за-

кон распределения. Часто имитационное моделирование заканчивается применением методов теории планирования эксперимента и значение выбранного показателя представляется в виде полинома, в котором коэффициенты при факторах характеризуют «вес» каждого из них. Нужно помнить, что имитационное моделирование – это вынужденная мера, когда другого пути решения поставленной задачи нет. Переход к имитационной модели нужно обосновывать и не забывать, что имитационная модель обязательно должна быть подвергнута верификации. В методическом плане имитационное моделирование совпадает с физическим. И там, и там проводятся эксперименты не с натурой, а с моделями природы. При физическом моделировании в качестве модели, как правило, выступает уменьшенная копия природы (например, самолета или ракеты). При имитационном моделировании моделью является машинная программа на каком-либо языке программирования. Но и в том, и в другом случае модель должна быть допущена к эксперименту, иначе это будет по выражению Роберта Шеннона «развлечением праздного ума». При допуске к эксперименту физической модели часто применяются критерии подобия. При допуске к эксперименту имитационной модели она подвергается процедуре верификации.

Верификация имитационной модели – процедура оценивания степени доверия к результатам моделирования, представляющая собой набор экспериментов, проводимых с имитационной моделью. В числе таких экспериментов должны в первую очередь быть эксперименты на предсказуемость результатов моделирования и предсказуемость поведения модели при изменении действующих факторов. Описание процедуры верификации широко представлено в Интернете. В диссертации обязательно должна быть программа верификации имитационной модели, а также должен быть зафиксирован результат процедуры верификации. Имитационная модель и процедура её верификации – это неразрывная связка. Говорить о применении методологии имитационного моделирования без проведения верификации имитационной модели неправомерно. Так же неправомерно, как и проводить физическое моделирование без проверки модели по критериям подобия.

Валидация модели – процедура сравнения результатов моделирования с результатами функционирования подобных реальных систем, если таковые имеются. Большое расхождение результатов свидетельствует о том, что исследователь не включил в модель один или несколько факторов, имеющих место в реальной жизни. Валидация, в отличие от верификации, не всегда возможна. Валидация, как правило, невозможна для новых систем, так как не с чем сравнивать результаты моделирования.

Технология – совокупность методов, процессов и материалов, используемых в какой-либо отрасли деятельности, а также научное описание способов технического производства.

Общие пожелания соискателю:

а) Обязательно выбрать тему, являющуюся актуальной для избранного направления научных исследований (посмотреть документы правительства РФ, министерств, научных комитетов при государственных организациях и пр.).

б) Тщательно изучить Положение ВАК в части защиты кандидатских диссертаций и выбрать тему в строгом соответствии с паспортом специальности. И сразу определиться с диссертационным советом, где будет защита, узнать о специальностях, по которым проходит защита в избранном совете.

в) Постараться в самом начале определиться с научными положениями, которые будут выноситься на защиту (желательно не более трех) и в процессе работы над диссертацией публиковать свои научные статьи именно в обоснование этих научных положений. При этом нельзя большинство публикаций размещать в одном и том же издательстве. И, конечно, нужно стремиться, чтобы публикации были в ведущих рецензируемых научных изданиях.

г) Особое внимание следует уделить автореферату, поскольку его будет читать значительно больший круг лиц, чем основной текст диссертации. Ни у кого не должно возникнуть сомнений в отношении научности и достоверности работы.

д) И конечно, такое же внимание следует уделить изложению текста введения, которое читается первым и всегда очень внимательно, поскольку оно знакомит читающего с сутью работы. По введению составляется первое, трудноизменяемое представление о диссертации в целом.

е) Чаще всего задержка защиты происходит из-за недостаточного количества публикаций.

Главу диссертации можно оформить за месяц-два, а вот публикация научной статьи может затянуться на полгода и более. Сразу же после утверждения темы диссертации приступайте к разработке научных статей, ищите (с помощью научных руководителей) издательства и отправляйте туда свои материалы. Старайтесь опубликовать за один год 2-3 статьи, а по возможности и больше.

3 Формально-логические и терминологические аспекты диссертационной работы

Финальной точкой аспирантского труда является успешная защита кандидатской диссертации. Сложность процесса, направленного на достижение такой цели, определяется его непохожестью на все виды деятельности, которыми соискатель ученой степени занимался ранее. Специалист с высшим образованием обязан уметь справиться с любой задачей, решение которой описано в справочниках, учебниках, монографиях и статьях (совокупность которых можно трактовать как объем знаний, образующих современную науку), даже если это решение в целостном виде в них не присутствует. Претендующий на ученую степень обязан предъявить научной общественности новые знания, дополняющие известные, или позволяющие использовать известные знания новым образом, дающим положительный эффект.

Продуктивного алгоритма (последовательности конкретных действий, позволяющих гарантированно получить искомый результат) формирования новых знаний не существует. Поэтому поиски научной задачи и далее подходов к ее решению, являются суть творческого процесса, в котором соискатель должен проявить свои качества как: исследователь, способный спланировать и осуществить эксперимент (физический или математический), а также обобщить его результаты; системный мыслитель, способный выявить и сформулировать закономерности; и инженер-изобретатель, способный сформулировать конкретные рекомендации по применению выявленных закономерностей для решения прикладной задачи, имеющей значение для страны и общества.

Исследовательский процесс с его рутинной работой по формированию и обработке данных, редкими, но счастливыми мгновениями озарений и достижений ожида-

емых результатов, остается в качестве сложного комплекса воспоминаний у соискателя. Для диссертационного совета, оценивающего проделанную работу, имеют значение только предъявляемые на суд результаты, представленные в виде доказательств вынесенных на защиту положений, и сопровождающие их формальные признаки, наличие которых определено нормативными документами ВАК, а именно: наличием документа об успешной сдаче кандидатских экзаменов, необходимых экспертных заключений и отзывов, полнотой опубликованности результатов диссертационных исследований, включая не менее двух статей в ведущих рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК или приравненных к ним.

Важным моментом является следующая терминологическая тонкость: ученое звание присваивается, а ученая степень – присуждается. Для получения диплома доцента или профессора необходимо выполнить конкретные условия, степень соответствия которым соискатель способен оценить самостоятельно. Получение ученой степени возможно только на основании коллегиального решения группы профильных ученых, оценивающих полученные результаты на основании личного убеждения. Иного способа верифицировать новое знание нет – его не с чем сравнить, нет надежного инструмента, дающего возможность измерить весомость нового научного результата. Только совокупность положительных суждений большинства членов диссертационного совета о полученных результатах диссертационных исследований, формируемых с учетом мнения научного руководителя, заключений оппонентов и ведущей организации, а также отзывов на автореферат, выступает как инструмент объективизации оценки нового знания.

Столь длинное предисловие к основному содержанию раздела статьи обусловлено необходимостью актуализировать поднимаемые вопросы и сфокусировать внимание читателя на обсуждаемый аспект.

Аспирант в ходе своего движения к защите должен осознать, что от формы представления полученных результатов во многом зависит успех защиты. Мало получить новое научное знание, необходимо донести его слушателям к пригодной форме, чтобы быть понятым. Некоторые аспекты уже обсуждались на страницах журнала [3], но практика показывает, что требуется данной теме уделять постоянное внимание.

Человеческое общение предполагает обмен знаниями и сведениями. Для общения используются слова, каждому из которых соответствует некая материальная сущность или идеальная абстракция. Каждое слово обозначает какой-либо предмет, одушевленный или неодушевленный, явление или процесс, их элемент или характеристику, совокупность или систему предметов или характеристик и связи между ними, или отношение к перечисленным единицам восприятия, или отношение к указанным отношениям.

Ввести в понятийное поле человека некую смысловую единицу можно двумя различными путями: показать или рассказать. В данном контексте термин *показать* означает предоставить вводимую смысловую единицу или ее адекватную модель для личного исследования (контактного или бесконтактного) обучаемым. Термин *рассказать* означает объяснить путем вербального описания. При этом могут быть использованы аналогии. При описании используются два вида характеристик: качественные и количественные. Характеристики объектов связаны с их свойствами. В технике для описания измеримых свойств объекта используется система показателей, состоящая

из пары характеристик: параметра и его значения. Само слово *параметр* образовано как описание назначения сущности, означаемой этим словом: *пара* – рядом, *метр* – результат измерения.

Термин *атрибут* происходит от латинского слова, переводимого как *приданное*, означает неотъемлемое свойство. Важный нюанс: атрибут является не столько свойством, сколько признаком, т.е. знаком, указывающим на наличие некоторого свойства. Например, китель с погонами – атрибут военнослужащего, разрядный значок – атрибут спортсмена. Использование данного атрибута иным лицом не придает ему данного свойства. В настоящее время сущность термина сместилась в т.ч. по причине навешивания на него новых смыслов, например в сфере ИТ: «Очевидно, что термин *свойства* не всегда удобен. Поэтому вместо него используется термин *атрибут*. Можно говорить, что характеристика класса задается совокупностью атрибутов, имеющих смысл для элементов поля этого класса. Атрибуты во много подобны функциям, определенным на поле класса, они ставят в соответствие его элементам значения и отличаются от функций только тем, что два атрибута, принимаемые как различные, с точки зрения традиционного понятия функций могут быть одинаковыми. Поэтому атрибут удобно понимать как пару, первый элемент которой является некоторым текстом, называемым именем атрибута, а второй – функцией, определенной на поле класса. В динамических системах такая функция может иметь еще один аргумент – время.»

Приведенные примеры подчеркивают необходимость внимательного отношения соискателя к выбору корректных терминов для донесения полученных результатов до диссертационного совета.

Наиболее точно и лаконично термин можно определить как единицу языка, обозначающую понятие специальной области знания или деятельности. В роли термина может выступать как отдельное слово, так и словосочетания, наиболее ёмко отражающие описываемое понятие. Основоположник советской терминологической школы Д.С.Лотте предъявлял к научно-техническому термину такие требования: системность; независимость от контекста (с допускаемыми отклонениями); однозначность (которая бывает абсолютной и относительной); точность; краткость (последние два условия нередко вступают между собой в противоречие и при создании термина одним из них пренебрегают) [4, с.10-11].

Еще одно перечисление лингвистических особенностей терминов приведено у Е.В. Павловой: адекватность (как соответствие терминируемого понятия современному научному знанию о соотнесённом объекте), однозначность в рамках определенной терминосистемы, точность, краткость, логизированность семантики, наличие дефиниции, отсутствие экспрессии и стилистическая нейтральность, независимость от контекста (с допускаемыми отклонениями), системность [5, с.2-3].

Некрасова Т.В. добавляет к вышеперечисленным свойствам и характеристикам термина номинативность, целенаправленный характер, устойчивость и воспроизводимость в речи [6, с.74]. Также она разделяет требования, предъявляемые к термину, на три группы: семантические, формальные и прагматические (функциональные) требования.

К семантическим характеристикам относятся непротиворечивость семантики (соответствие термина понятию); однозначность (исключение категориальной много-

значности); полноточность (отражение в значении термина минимального количества признаков, достаточных для идентификации обозначаемого им понятия); отсутствие синонимов. Прагматические (функциональные) требования включают в себя внедренность в профессиональную коммуникацию (общепринятость и употребительность); интернациональность (стремление к одинаковости или близости форм, совпадению содержания терминов, употребляемых в нескольких национальных языках); современность (замена устаревших терминов современными эквивалентами); благозвучность (удобство произношения и отсутствие ассоциативной неблагозвучности) [6, с. 75].

Основываясь на представленных материалах, можно сделать вывод, что основными свойствами термина являются системность, независимость от контекста и однозначность.

В большинстве научных разделов существует устоявшаяся терминологическая система, включающая элементы общенаучной терминологии и специфические термины, уникально применяемые в данной области знаний. Явление *полисемии* – использования одинаковых или созвучных терминов в разном значении, зачастую приводит к аспирантским ошибкам, во избежание которых необходимо изучать и строго придерживаться в общении корректной терминологии. В НОЦ для оказания помощи аспирантам и соискателям создаются учебные и наглядные пособия. Систематизированная терминология стандартных прикладных результатов исследования представлена на рисунке 1.

Следующим важным аспектом представляется необходимость учета, что терминосистема является постоянно развивающейся, динамичной частью языка. Из этого вытекает необходимость обладания информацией об эволюции терминов в научной области исследований, поскольку члены диссертационного совета, являясь представителями иных возрастных групп, могут иначе трактовать употребляемые соискателем термины.

Базовыми для многих наук являются фундаментальные понятия, сопровождающие которые термины часто используются аспирантами некорректно в силу применения этих же слов в ином смысле в бытовом общении.

Свойство – термин, описывающий объективные особенности объекта, присущие ему независимо от наличия и особенности воспринимающего субъекта. Например, каждый вещественный объект обладает свойством испускать энергию в виде излучения. Для обозначения идеального объекта, лишённого такого свойства, введен термин «*абсолютно черное тело*». Такое свойство проявляется при взаимодействии с наблюдателем или иным детектирующим устройством (сенсором). Степень и форма проявления указанного свойства наблюдатель может описывать (характеризовать) цветом и яркостью (интенсивностью). Характеристика «цвет» может описываться различными показателями, например: названием цвета или оттенка, степенью сравнения с другими объектами, проявляющимися таким же цветом, длиной волны излучения. Если длина волны получена путем измерения, то ее значение называется значением параметра.



Рисунок 1 – Систематизированная терминология стандартных прикладных результатов исследования

Каждый объект существует в окружении других объектов, оказывающих влияние на его свойства и степень их проявления.

Характеристика – описание свойства *Качество* – соответствие свойства или совокупности свойств предъявляемым требованиям. Показатель качества – аспект, сторона качества. *Количество* – мера проявления качества. Может оцениваться субъективно (много, мало, достаточно и др.) или измеряться. Для измерения требуется наличие метрики, эталона и шкалы.

Критерий – правило принятия решения о качестве объекта. Граничные (критериальные) значения – директивные значения показателей, определяющие диапазоны качества объекта

Оптимальность – наилучшее в некотором смысле. Например, чемпион – лучший среди участников чемпионата, проводимого по заданным правилам. Правилom принятия решения о чемпионстве является *критерий оптимальности* – чемпион лучше других участников соревнования продемонстрировал свои возможности в некотором виде деятельности. Данную ситуацию можно обозначить как локальную оптимальность. Для глобальной оптимальности чемпион должен продемонстрировать абсолютный наилучший (лучший для текущих и всех предшествующих соревнований) результат. Тогда он именуется рекордсменом.

Для участия в чемпионате требуется выполнить одно из двух условий:

- продемонстрировать в текущем сезоне результат, превышающий граничное значение, заданное организаторами чемпионата (*критерий пригодности*);
- стать победителем (в других случаях – призером) соревнований определенного ранга (*критерий превосходства*).

В рамках диссертационной работы в области технических наук выполняется исследование некоторого выбранного реального объекта, в качестве которого может выступать: устройство, комплекс, система или процесс.

Если в рамках исследования делается акцент на части свойств объекта исследования, то указывается предмет исследования.

Система представляет собой совокупность образующих ее элементов и связей между ними. Свойства системы определяются свойствами входящих элементов и их связями. Состав системы определяется перечнями элементов и межэлементных связей, конкретный вариант организации системы из элементов указанных перечней называется *структурой*. Систему, обладающую свойствами, не сводящимися к сумме свойств ее элементов, называют сложной.

Каждый объект можно рассматривать на различных уровнях обобщения: как элемент системы, образуемой самим объектом и его окружением, и как систему, образуемую частями объекта. Процедуры перехода между уровнями осуществляются на основе положений теории агрегирования и декомпозиции.

Изучение объекта исследования может производиться на основе наблюдения за его поведением в различных условиях или на основе исследования иного объекта, обладающего такими же исследуемыми свойствами – *модели* объекта.

Вербальная модель – словесное описание, совокупность словесных характеристик объекта. *Математическая* модель – формализованное описание объекта.

Типовой целью диссертационного исследования является достижение заданного или максимального уровня качества объекта исследования. Достижение цели осу-

ществляется путем исследования зависимости свойств объекта исследования от его состава и структуры, а также внешних влияющих факторов.

Т а б л и ц а 1 – Варианты объектов исследования

| Объекты исследования | | |
|---|---|--|
| <i>Устройство</i> | <i>Система</i> | <i>Процесс</i> |
| Примеры предмета исследования | | |
| - структура и параметры, - режимы и результаты функционирования, - взаимодействие с окружающей средой, - эволюция характеристик в процессе эксплуатации и применения | - состав элементов и взаимосвязей, - организационная структура, - взаимосвязь параметров элементов с результатами функционирования, - влияние окружения на результаты функционирования | - содержание, порядок, интенсивность, протяженность операций, - ресурсоемкость и качество результатов операций, - эффективность целенаправленного процесса |

Научно-обоснованные решения (технические, технологические, методические и др.) – знания, представленные в виде структур, алгоритмов, методик, формул, позволяющие получить новые эффекты, имеющие значение для развития страны.

Процесс – упорядоченная совокупность действий над материальными объектами и их результатов.

В качестве предмета исследования у одного объекта исследования могут выступать разные стороны (аспекты).

Разрешение противоречия осуществляется формированием нового научного знания, позволяющего получить искомый результат.

В некоторых исследованиях новые результаты позволяют только приблизить цель или создают предпосылки для дальнейших изысканий. Пример: мечи не позволяют долго биться с врагами – гнутся и ломаются. Причина – плохой материал. Цель – получить хороший меч. Проведено исследование и показано, что повышение температуры нагревания металла с последующим резким охлаждением ведет к повышению твердости. Как обеспечить температуру 1200 градусов исследование не говорит, но выявленная закономерность и предложенный способ термической закалки являются научными результатами.

В некоторых исследованиях получение результата вследствие применения разработанного инструментария является вероятностным (негарантированным). Мерой потенциальной успешности операции может быть вероятностный показатель.

Корректно сформулированная цель исследования позволяет наглядно иллюстрировать взаимосвязь полученных новых научных результатов с практической пользой.

Решение научной задачи предполагает наличие вклада в конкретную науку и отличие исходных данных, ограничений, допущений, способа решения или результата сформулированной задачи от ранее известных.

ЭЛЕМЕНТЫ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В ТЕХНИЧЕСКИХ НАУКАХ

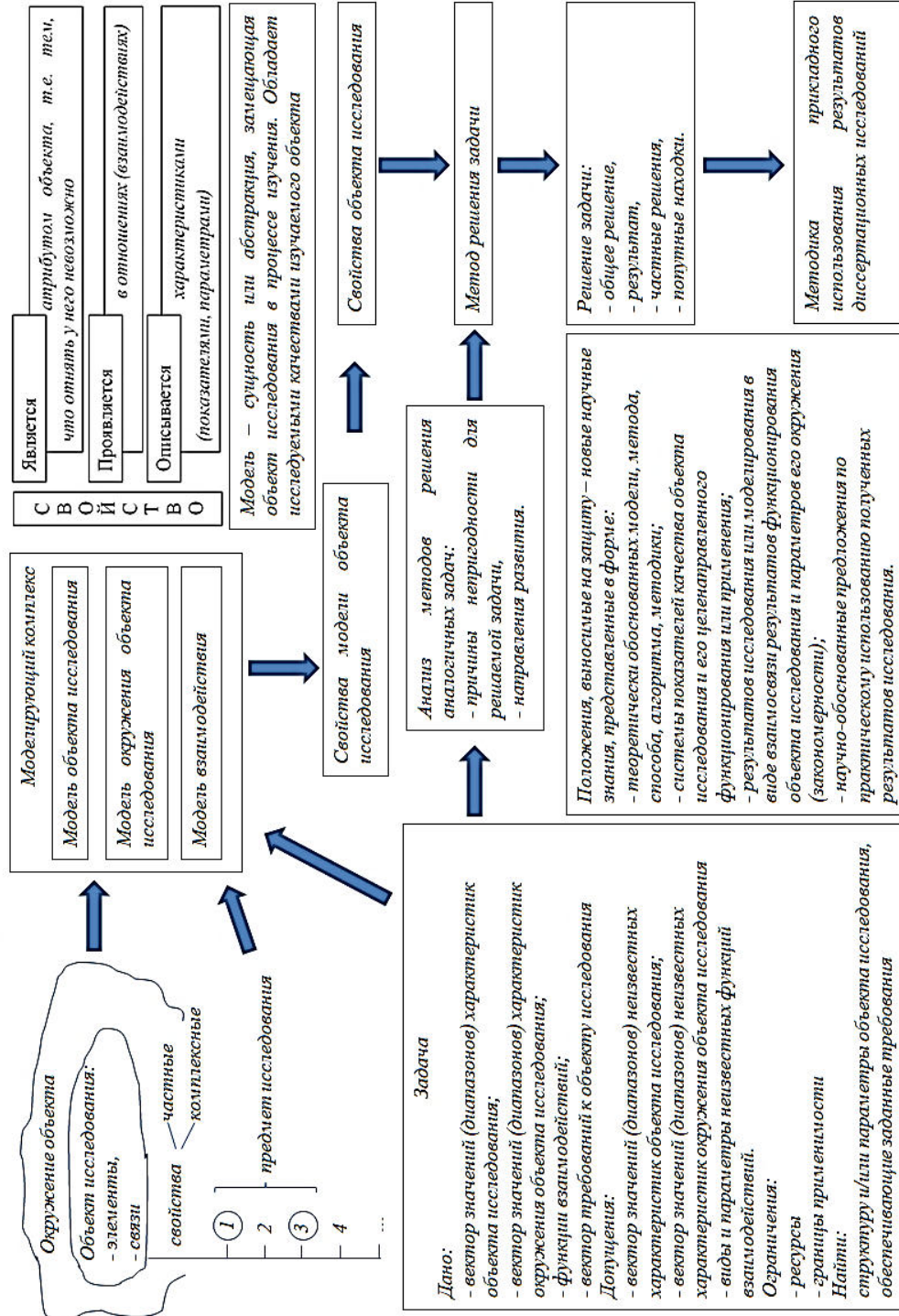


Рисунок 2 – Элементы диссертационного исследования в технических науках

Заключение

Уверенное владение общенаучной и специальной терминологией является необходимым элементом образа ученого и обязательным условием успешности публичной защиты результатов диссертационных исследований.

Некорректное применение терминов может стать причиной недопонимания и неверной оценки защищаемых результатов. При этом причиной некорректности может стать как недостаточная подготовленность соискателя, так и попытка проявить оригинальность.

Представленные материалы не содержат полного спектра терминов, необходимых соискателю для достижения конечной цели своих изысканий, но являются необходимым фундаментом для построения системы научных положений, выносимых на защиту.

Акцентированное изучение источников научной информации, постоянное общение с научным руководителем, членами диссертационного совета и коллегами по аспирантуре, участие в проводимых НОЦ мероприятиях и конференциях позволят аспирантам и соискателям осуществить качественную подготовку диссертации и успешно провести ее защиту.

Литература

1 Подвязников М.Л., Баушев С.В. Замысел и реализация возрождения научных школ на предприятиях ОПК // Научный вестник оборонно-промышленного комплекса России. 2021. № 4. – С. 72-81.

2 Волгин В.А., Сайбель А.Г. Управление подготовкой кадров высшей квалификации на предприятиях оборонно-промышленного комплекса // Управленческое консультирование. 2022. № 5 (161). С. 72-82.

3 Сайбель А.Г. О смыслах, словах, символах и математике // Радионавигация и время: труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2020. – №5 (13). – С. 127-137.

4 Циткина Ф.А. Терминология и перевод: (к основам сопоставительного терминоведения). – Львов: Вища школа, 1988. – 157 с.

5 Павлова Е.В., Лаптева Т.Г. Специфика передачи терминов различных типов при переводе с английского языка на русский // Интерэкспо. Гео-Сибирь. – 2014. – №2. – С. 59-63.

6 Некрасова Т.В. Терминологические единицы как средство эффективности иноязычного общения в профессиональной сфере // Вестник Северного (Арктического) федерального университета. Серия: Гуманитарные и социальные науки. – 2008. – №1. – С. 74-80.

Волгин Валерий Анатольевич – кандидат военных наук, доцент, начальник отдела, Научно-образовательный центр АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радиокоординатометрия, моделирование и оптимизация сложных систем.

Email: v.volginl@goz.ru

Марченко Борис Иванович – доктор технических наук, профессор, начальник сектора, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радиокоординатометрия, моделирование и оптимизация сложных систем.

Email: noc.rnv@goz.ru

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

Область научных интересов: радиокоординатометрия, моделирование и оптимизация сложных систем.

Email: a.saybel@goz.ru

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

METHODOLOGICAL RECOMMENDATIONS FOR APPLICANTS DEGREE

The article is addressed to employees of defense industry enterprises carrying out dissertation research in the field of their professional activities. Contains materials intended to provide methodological assistance to young scientists in choosing and formulating the topic of dissertation research. The above recommendations and definitions are designed to systematize the activities of a researcher and reduce the risks of performing unproductive actions when preparing and defending a dissertation.

Key words: postgraduate study; thesis; scientific task; dissertation topic; purpose of the study; object of study.

Volgin Valery Anatolyevich – Candidate of Military Sciences, Associate Professor, Head of Department, Scientific and Educational Center of JSC "Obukhov Plant", St. Petersburg.

Research interests: radiocoordinate, modeling and optimization of complex systems.

Marchenko Boris Ivanovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Sector, Obukhov Plant JSC, St. Petersburg.

Research interests: radiocoordinate, modeling and optimization of complex systems.

Saybel Aleksey Gennadievich - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor, St. Petersburg University of the Ministry of Internal Affairs, Scientific and Educational Center of Obukhov Plant JSC, St. Petersburg.

Research interests: radio coordinateometry, modeling and optimization of complex systems.



Уже более 30 лет успешно развивается и совершенствуется методика системы сбалансированных показателей (ССП) для целей управленческого учета и повышения эффективности деятельности предприятий различного профиля. Разработанные на сегодня критерии оценки эффективности используют огромный спектр итоговых показателей, что зачастую размывает целостное восприятие конечного состояния предприятий со стороны их руководства. Применяемая в данной работе методика основана на использовании «комплексного показателя эффективности» (КПЭ), что наглядно и в удобной форме позволяет анализировать состояние «матрицы эффективности» предприятия исходя из принципа «светофора» (неблагополучное, устойчивое, благополучное) в отчетные периоды

и дает возможность ранжировать различные предприятия по степени их эффективности. Это важно для отраслевых промышленных холдингов, имеющих в своем составе большое количество управляемых дочерних и зависимых обществ (ДЗО) и позволяет стандартизировать подходы к оценке их деятельности.

На основе предложенной методики разработан комплекс программ внутреннего аудита и рейтингового анализа, позволяющий анализировать результаты деятельности промышленных предприятий с точки зрения определенного набора показателей эффективности: текущей, инвестиционной, финансовой, производственно-технологической и инновационной деятельности. Блоки программы дают возможность оценивать «узкие места» в этих видах деятельности и давать соответствующие рекомендации по их «расшивке». При анализе используются не только монетарные показатели бухгалтерской отчетности, но и определенный набор «натуральных» показателей паспорта предприятия, что дает более реальную картину динамики его развития.

Методика прошла апробацию в крупном промышленном холдинге, включающем несколько десятков ДЗО. Предлагается вниманию широкого круга специалистов, занимающихся вопросами повышения эффективности деятельности промышленных предприятий

Остапенко С.Н., Федосеева Н.Ю., Семичастнов М.А. Комплексный показатель эффективности деятельности промышленных предприятий. Планирование развития. – СПб.: Балтийская печать, 2022. – 184 с.



Основной задачей макроскопической теории электромагнитного поля является установление связи между величинами, характеризующими поле, и величинами, характеризующими источники, возбуждающие это поле для случаев, когда эти параметры являются функциями времени.

В макроскопических теориях оперируют множествами атомов и молекул и усредненными характеристиками этих множеств. Бесконечно малому объему и даже точке макроскопического пространства на самом деле соответствует объем вещества, физические размеры которого превосходят на несколько порядков размеры его атомов и молекул. Это позволяет в рамках принятых допущений не учитывать дискретную структуру вещества.

Основой математического аппарата макроскопической электродинамики являются системы уравнений Максвелла в интегральной и в дифференциальной форме.

Уравнения Максвелла являются математической формулировкой наиболее общих законов электромагнитного поля, найденных экспериментально. Эти законы являются постулатами макроскопической электродинамики и не могут быть доказаны теоретически. В то же время, следствия этих законов, полученные в результате математической обработки уравнений Максвелла, позволяют предсказать поведение электромагнитного поля для любых частных случаев и рассчитать численные значения характеризующих его параметров.

Электродинамика является теоретической базой всех прикладных радиотехнических дисциплин, в которых размеры исследуемых устройств или размеры анализируемого пространства соизмеримы с длиной волны рабочих колебаний или превышают ее. К ним относятся «Распространение радиоволн», «Антенны», «Устройства сверхвысоких частот» и т.д.

Учебное пособие предназначено для молодых ученых, занимающихся исследованием электромагнитных полей, и имеет целью создание цельной понятийной картины электродинамики как теоретической и прикладной дисциплины. Будет полезным для студентов радиотехнических специальностей и инженерно-технических работников, занимающихся созданием и эксплуатацией антенной техники.

Калашников В.С. Введение в макроскопическую электродинамику. Методы расчета полей : учебное пособие. – СПб.: Балтийская печать, 2022. – 184 с.

Правила приема и оформления рукописей, направляемых для публикации в журнале «Радионавигация и время: Труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз – Антей»»

1 Журнал принимает научно-технические рукописи, не предназначенные для публикации в других изданиях.

Тематика присылаемых рукописей должна соответствовать одной или нескольким специальностям следующей группы:

- 1.3.4. Радиофизика;
- 2.5.22. Управление качеством продукции. Стандартизация. Организация производств;
- 2.2.16. Радиолокация и радионавигация;
- 6.2.1. Вооружение и военная техника.

2 Рукопись должна быть направлена с сопроводительным письмом на бланке организации за подписью ее руководителя или заместителя руководителя.

К рукописи должен быть приложен акт экспертизы о возможности опубликования в открытой печати. Рукопись должна состоять из основного текста, подписанного всеми авторами, и рисунков, напечатанных на отдельных листах. При наличии в организации члена редакционной коллегии журнала может прилагаться его рецензия. К рукописи должны быть приложены сведения об авторах (на отдельном листе).

3 Представляется один экземпляр рукописи на бумаге формата А4 (по ГОСТ 9327-60), плотностью не менее 80 г/м² (по ГОСТ 27015-86), с белизной более 75% (по ГОСТ 30113-94), а также ее электронная версия.

Расстояния от краев листа до границ текста (поля) задаются по требованиям редакции. Размеры полей: верхнее – 38 мм, нижнее – 37 мм, левое – 33 мм, правое – 33 мм.

Электронная версия готовится в редакторе Word (версия не ниже Word 2000), шрифт Times New Roman без стилового оформления при использовании редактора формул Equation версии 3.0 или выше.

Выравнивание текста – по ширине страницы. Каждый абзац начинается с красной строки. Отступ 10 мм. Шрифт – Times 11. Абзац – множитель 1,1. Заголовок – Times Bold 13. Интервал между абзацами равен межстрочному.

4 Порядок расположения материалов в основном тексте (по ГОСТ Р 7.0.7-2009): индекс универсальной десятичной классификации (УДК), название рукописи с числом слов не более 10, инициалы и фамилии автора(ов), аннотация рукописи с числом строк не более 10, текст рукописи, список литературы. Объем рукописи от 3 до 10 страниц основного текста, без учета рисунков. Нумерация страниц – сквозная (располагается снизу, выравнивание по центру).

5 Аннотация оформляется одним абзацем с объемом не более 500 символов и должна отражать постановку задачи, новизну описываемой работы, не дублировать название, введение и выводы к рукописи, а в определенной мере дополнять их. В аннотацию не следует вставлять аббревиатуры, формулы и ссылки на литературу.

6 Текст рукописи может делиться на составные части. При ссылке на части текста используются термины:

- части первого уровня (части текстового документа) – разделы;
- части второго уровня (части разделов) – подразделы;
- части третьего уровня (части подразделов) – пункты;
- части четвертого уровня (части пунктов) – подпункты.

Нумерация частей имеет вид:

1 Название раздела

1.1 Название подраздела

1.1.1 Название пункта

1.1.1.1 Название подпункта

Части ниже четвертого уровня не нумеруются.

7 В текстовом редакторе Word имеются возможности для применения несуществующих в русском языке графических знаков («•», «▶», «●», «◆» и др.). Эти знаки рекомендуется использовать в неофициальной и личной переписке. При составлении текстового документа на русском языке необходимо использовать только стандартные знаки препинания.

Для перечислений используется знак «дефис» («-»). Например:

Цвета:

- синий,
- зеленый,
- красный.

Дефис также используется в сложных словах для разделения их частей.

Знак «тире» («—») используется в предложениях.

В редакторе Word также имеется знак «длинное тире» («—»). Его наличие в тексте чаще всего свидетельствует о том, что фрагмент скопирован из формата html.

В редакторе Word в одной гарнитуре имеется до трех видов кавычек («», " ", “ ”). Необходимо использовать в тексте единый вид.

8 При подготовке рукописи необходимо обращать внимание на написание букв и слов – русские (а, б, в, ю) и греческие буквы (α , β , ξ , Ξ , Σ , $\epsilon\rho\eta\kappa\alpha$) набираются прямо, а латинские (*a*, *w*, *j*, *W*, *Q*, *left*, *interrupt*) – курсивом (кроме химических формул CuSO_4 , $\text{Ra}(\text{OH})_2$ и т. д.). Те же требования необходимо соблюдать при написании букв, индексов и степеней в формулах.

Обозначения матриц и векторов с использованием букв любых алфавитов набираются жирным шрифтом прямо (**Ω** , **Ξ** , **W** , **Q** , **q**).

Для чисел, функций и операторов (1, 252, $\cos(x)$, $\sin(y)$, $\text{rot } F$, $\exp(x)$ и т. д.) используется только прямой шрифт. Римские цифры не допускаются. Дробная часть десятичного числа отделяется запятой.

9 Вывод математических зависимостей должен быть кратким, без промежуточных преобразований. Все обозначения величин в формулах следует расшифровать (кроме общепринятых типа *j*, π). Формулы, на которые в тексте есть ссылки, нумеруются в круглых скобках. Нумерованная формула должна быть написана отдельной строкой, выравнивание ее номера осуществляется по правому краю. Для нумерованной формулы допускается расположение ее в тексте рукописи. Формулы, включенные в текст, следует набирать без увеличения интервала между строками, например, *b/d*, $\exp(x/2)$. Прописные и строчные буквы, надстрочные и подстрочные индексы в формулах должны обозначаться четко.

Индекс у индекса не допускается.

Пример оформления формул:

При моделировании исследуемого процесса использована формула

$$(x + a)^n = \sum_{k=0}^n \binom{n}{k} x^k a^{n-k}, \quad (1)$$

где *x* – переменная, описывающая процесс;

a – еще одна переменная;

n – число итераций.

В формуле (1) используется знак суммирования.

При моделировании не использованы формулы:

$$x = 1, \quad (2)$$

$$a = 2, \quad (3)$$

где x – первая переменная,
 a – вторая переменная.

10 Название таблицы, при ее наличии, должно быть точным и кратким. Содержание таблиц должно быть лаконичным и иметь только необходимые для иллюстрации текста данные, таблица не должна дублировать рисунки.

Оформление таблиц должно соответствовать ГОСТ 1.5-2001. Таблицы печатаются в общем тексте после первой ссылки и нумеруются, если их количество больше одной.

Пример названия таблицы: «Т а б л и ц а 1 – Результаты вычислений».

Положение начала слова Т а б л и ц а должно совпадать с положением левой границы таблицы.

Строки в таблице не нумеруются.

11 Наименования, обозначения и единицы физических величин приводятся только в системе СИ (ГОСТ 8.417-2002). Обозначение единицы физической величины указывается после последнего числового значения диапазона, например, от 1 до 5 мм, от +10 до минус 40°C.

12 Литературные ссылки нумеруются в прямых скобках, например [1]. Список литературы составляется в соответствии с порядком ссылок по тексту.

Оформление литературных ссылок в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008. Для каждой литературной ссылки следует указывать автора(ов), если такие имеются, полное название работы, издательство, год издания, общее количество страниц в издании или номера страниц при ссылках на журналы или разделы в книгах.

13 Рисунки и фотографии должны быть четкими, контрастными, желательно в альбомной ориентации и располагаться на отдельных листах.

Рисунки предоставлять в формате *.jpg с разрешением не менее 300 dpi без интерполяции.

Числовые обозначения на рисунке ставятся по часовой стрелке. Подрисуночные подписи имеют вид «Рисунок 3 – Спектр сигнала». При наличии на рисунке обозначений после подрисуночной подписи ставится двоеточие и с новой строки приводится их расшифровка.

Подрисуночную подпись разрешается размещать в тексте статьи.

14 Количество рисунков и таблиц, как и число наименований в списке литературы, должно быть не более 6 (для обзорных рукописей список литературы может быть увеличен).

15 Сведения об авторах включают фамилию, имя, отчество, ученую степень, ученое звание, место работы и должность, область научных интересов, а также контактные телефоны и электронные адреса каждого автора. Также должен быть представлен корреспондентский почтовый адрес и телефон для контактов с авторами статьи (можно один на всех авторов). Сведения приводятся на русском и английском языках.

16 Название статьи и аннотация приводятся на русском и английском языках.

17 Ключевые слова или словосочетания отделяются друг от друга точкой с запятой. Ключевые слова приводятся на русском и английском языках.

18 Редакционная коллегия оставляет за собой право возвращения рукописи на доработку при невыполнении указанных выше требований по ее оформлению.