



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,
пр-кт Обуховской
Обороны, д. 120.

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

РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ: ТРУДЫ СЗРЦ КОНЦЕРНА
ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ»
№ 13 (21) – 2023

АО «РИРВ»,
АО «Обуховский завод»

Редакционный совет:

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

Ответственный редактор

Васильева Людмила Николаевна

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 «АЛМАЗ – АНТЕЙ» №13 (21) – 2023: ТРУДЫ СЕВЕРО-ЗАПАДНОГО РЕГИОНАЛЬНОГО ЦЕНТРА КОНЦЕРНА ВКО «АЛМАЗ – АНТЕЙ». – СПб.: Балтийская печать, 2023. – 148 с. – ил.

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

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

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

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

Журнал рассчитан на широкий круг специалистов.



Уважаемый читатель!

Перед Вами тринадцатый номер журнала «Труды СРЗЦ Концерна ВКО «Алмаз – Антей»: «Радионавигация и время», разнообразные статьи которого в соответствии с политикой редакционной коллегии можно сгруппировать в несколько направлений:

- развитие систем и средств ближней аэронавигации;
- состояние и перспективы развития системы противоракетной обороны США (обзорно-аналитическая статья *д-на профессора Раскина А.В.* в помощь аспирантам и соискателям при обосновании актуальности собственных разработок в соответствующих областях знаний, а также расширения кругозора всех интересующихся предлагаемой тематикой. В следующем выпуске журнала редакция планирует разместить очередную статью Раскина А.В., посвященную уже тематике отечественной конструкторской мысли в области противоракетной обороны);
- практика инновационной металлообработки на промышленном предприятии;
- дискуссионная трибуна;
- история школьного обучения при Обуховском заводе.

Первую группу статей открывает материал ученых подразделения Обуховского завода, продолжающего тематику Всероссийского научно-исследовательского института радиоаппаратуры «Перспективные направления развития радиотехнических систем ближней навигации». Авторы (*д-н Криворучко Ю.Т., к-н Король В.М., к-н Княжский А.Ю., д-н профессор Шатраков Ю.Г.*) предлагают свое видение развития по пути перехода системы из дециметрового в сантиметровый диапазон радиоволн с целью повышения точности местоопределения воздушных судов вблизи аэродрома.

Доктора технических наук Плясовских А.П. и Криворучко Ю.Т. рассматривают вариант применения микроволновых радиолокационных средств обеспечения посадки летательных аппаратов как альтернативу системе спутниковой навигации, а также

обосновывают целесообразность применения передвижной лаборатории на базе грузового автомобиля как перспективного инструмента отладки микроволновых систем посадки.

В разделе «Журнал в журнале: страница аспиранта» свои результаты публикуют начинающие ученые Нестерович А.В. (научный руководитель дтн Яковлев В.Т.) и Копосов А.В., Давиденко В.Ю., Шайдуров И.Г. (научный руководитель дтн Плясовских А.П.) в статьях «Алгоритм интеграции инерциального навигационного комплекса с системой спутниковой навигации» и «Обнаружение спуфинга АЗН-В на поверхности аэродрома с помощью двух приемных станций АЗН-В».

Две статьи специалистов и энтузиастов вакуумной обработки материалов и инструментов формируют **вторую группу материалов** научно-практической направленности. Авторы *ктн Ерузин А.А., Климов С.Д., Степанов Б.В. и Гейн А.М.* в публикации «О применении термоплазменной обработки при изготовлении смарт-инструмента в практике промышленных предприятий» продолжают ранее начатую в № 8 нашего журнала тему разработки и применения технологических процессов нанесения «умных» покрытий на режущий инструмент. В конце 2023 года практическая деятельность специалистов в этом направлении была удостоена серебряной медали Международной выставки «Металл-Экспо».



Под девизом «без пружины нет машины» большой авторский коллектив сотрудников Обуховского завода и Балтийского государственного технического университета (ВОЕНМЕХ) (*Еременко А.И., Чиркова А.А., Степанов Б.В., Гейн А.М., ктн доцент Ремшев Е.Ю., ктн доцент Воробьева Г.А., Калугина М.С.*) подробно рассмотрели и проанализировали эффекты совместного применения звуковых колебаний и температурных режимов на свойства упругости некоторых основных представляющих интерес материалов. Статья «Техпроцессы аэротермической обработки материалов упругих элементов» предлагает также конструкцию соответствующей установки и режимы ее использования.

Четыре статьи могут быть сгруппированы по признаку нацеленности на оптимизацию или научный либо эвристический поиск организационно-технических решений в области организации и обеспечения промышленного производства. Во-первых, это статья «Обоснование необходимости применения электронных моделей деталей в документообороте» *Кривошеева А.В.*, обеспокоенного непроизводительными тратами времени в ходе взаимодействия коллективов конструкторов и технологов. Несмотря на наличие и постоянное развитие организационной базы внедрения как технического электронного документооборота, так и электронных чертежей-моделей различного формата, сквозное проектирование и технологическое оценивание производимости на конкретном предприятии еще не стало, скажем так, бесшовным.

В настоящее время в производстве радиоэлектронной аппаратуры находят применение те или иные компоненты иностранного производства, при этом сопровождающая их документация разрабатывается по собственным техническим условиям и снабжается характеристиками не в полном объеме по отношению к российским стандартам, а также используются параметры, отличные от применяемых в России. Это ставит перед расчетно-испытательными подразделениями задачу верификации и валидации указанных данных и корректного их учета при оценивании надежности конечных изделий. В интересном материале «Порядок определения действительных показателей долговечности и сохраняемости ЭКБ иностранного производства» авторов *Ванюкова С.М., Котусева П.А. и Русина А.А.* рассмотрены предпочтительные пути решения этой задачи.

Математическая статья «Приложения алгоритма графического построения прямых разложений абелевых групп без кручения к задаче распределения ресурсов» (*Благовецкая Е.А., Микулик И.И., Абызов А.Н.*) затрагивает вечную проблему распределения ресурсов – от финансовых, материальных до человеческих. Пожелаем авторам в развитии своего взгляда найти его приложение к некоторой конкретной задаче на промышленном предприятии в целом или его производственном подразделении – цехе, участке.

Статью *Ермолаева С.В., Никитина А.В. и Тарелкина Е.П.* «Проблемы навигационного обеспечения градостроительной деятельности» следует рассматривать как системный взгляд на этап инженерных изысканий в градостроительной деятельности, в котором выявлен ряд рабочих противоречий в действующем законодательстве и нормативной базе инженерных изысканий, а также предложен путь технического обеспечения отрасли навигационной аппаратурой потребителя ГНСС ГЛОНАСС геодезического класса отечественной разработки.

В разделе «Дискуссионная трибуна» достаточно обширно представлен авторский взгляд *д-та доцента Сайбея А.Г. и к-та Щеглова Д.К.* на активно используемый в научно-популярной и иной литературе термин «цифровизация», прослеживающий возникновение и эволюцию развития техники связи от первых дискретных и аналого-цифровых преобразователей до современного насыщения эфира и носителей информацией в цифровом виде. Создатели статьи «Цифровизация и цифровые технологии: от происхождения термина до его современного использования» избегают давать собственное определение «цифровизации», акцентируя внимание читателя на, скорее, не в меру расширенном и не всегда обдуманном толковании соответствующих понятий.

Опубликованная в номере 11 нашего журнала статья *д-на Плясовских А.П.* «Специальная теория относительности дает ошибки в 100 раз и более» ожидаемо привлекла к себе критическое внимание ряда читателей, что позволяет продолжить дискуссию о границах применимости специальной теории относительности в наш век, пусть пока еще и не световых, но, все-таки, космических скоростей. Здесь мы приводим один из откликов – ведущего специалиста АО «Российский институт радионавигации и времени» *Белянкина П.В.* Пока редакция не высказывает собственного мнения, полагая, что, видимо, пришло время осмысления основ научной теории, получившей известность в первом десятилетии двадцатого века, давая возможность практикам от разработки радиотехнических систем высказаться по теме, вызывавшей споры на протяжении всего времени своего существования.

Продолжает **историческую тематику** статья *Шаталова А.В. и Акулич Е.В.* – директора и заведующего музеем Санкт-Петербургской 337 школы имени Героя России Д.В.Долонского – «Техническая школа при Обуховском заводе». Уходящий 2023-й год был юбилейным для Обуховского завода – предприятие отметило 160 лет со дня образования, а в наступающем 2024-м школа будет отмечать 115-летие своего образования как Технической школы при Обуховском заводе. Накануне этого юбилея сотрудники Научно-образовательного центра подарили музею школы действующий корабельный радиоприемник «Волна-К», который нашел свое место в военно-морском уголке хранилища истории.



Доктор военных наук, профессор
С.В.Баушев

<i>Раскин А.В., Шевченко В.Ф.</i> Современное состояние и перспективы развития системы противоракетной обороны США	8
<i>Криворучко Ю.Т., Король В.М., Княжский А.Ю., Шатраков Ю.Г.</i> Перспективные направления развития радиотехнических систем ближней навигации	17
<i>Криворучко Ю.Т., Плясовских А.П.</i> Мобильная микроволновая система посадки – альтернатива спутниковой посадке	26
<i>Ерузин А.А., Климов С.Д., Степанов Б.В., Гейн А.М.</i> О применении термо-плазменной обработки при изготовлении смарт-инструмента в практике промышленных предприятий	35
<i>Еременко А.И., Чиркова А.А., Степанов Б.В., Гейн А.М., Ремшев Е.Ю., Воробьева Г.А., Калугина М.С.</i> Технологии азротермоакустической обработки материалов упругих элементов	44
<i>Блинов И.Ю., Арсланбеков И.Р.</i> Определение значения уровня входного сигнала навигационного приемника по блокированию для обеспечения возможности обработки сигналов с высоким энергетическим уровнем	61
<i>Благовещенская Е.А., Микулик И.И., Абызов А.Н.</i> Приложения алгоритма графического построения прямых разложений абелевых групп без кручения к задаче распределения ресурсов	67
<i>Кривошеев А.В.</i> Обоснование необходимости применения электронных моделей деталей в документо-обороте	72
<i>Ванюков С.М., Котусев П.А., Русин А.А.</i> Порядок определения действительных показателей долговечности и сохраняемости ЭКБ ИП	78
<i>Тарелкин Е.П., Никитин А.В., Ермолаев С.В.</i> Проблемы координатного обеспечения градостроительной деятельности	88
<i>Геворкян А.Г., Перов Д.А., Писарев С.Б.</i> Итеративная обработка радиосигнального цифрового потока	97
<i>Аспиранты и соискатели</i>	
<i>Нестерович А.В., Яковлев В.Т.</i> Алгоритм интеграции инерциального навигационного комплекса с системой спутниковой навигации	102
<i>Копосов А.В., Давиденко В.Ю., Шайдуров И.Г.</i> Обнаружение спуфинга АЗН-В на поверхности аэродрома с помощью двух приемных станций АЗН-В	107
<i>Дискуссионная трибуна</i>	
<i>Сайбель А.Г., Щеглов Д.К.</i> Цифровизация и цифровые технологии: от происхождения термина до его современного использования	117
<i>Белянкин П.В.</i> Ошибок в специальной теории относительности не обнаружено	135
<i>Листая старые страницы</i>	
<i>Шаталов А.В., Акулич Е.В.</i> Техническая школа при Обуховском заводе	139

УДК 621.396

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМЫ ПРОТИВОРАКЕТНОЙ ОБОРОНЫ США

Раскин А.В., Шевченко В.Ф.

В статье рассмотрены основные подходы к созданию противоракетной обороны США. Проанализированы этапы создания противоракет GBI и перехватчиков ЕKV и их основные характеристики. Показан морской компонент противоракетной обороны США. Рассмотрены состав и основные характеристики системы ПРО в Европе. Кроме этого рассмотрен предназначенный для перехвата баллистических ракет малой и средней дальности в атмосфере и за ее пределами на конечном этапе полета комплекс ТНААД и последняя модификация армейского зенитно-ракетного комплекса Patriot.

Ключевые слова: противоракетная оборона; баллистические ракеты различной дальности; кинетический перехватчик; шахтные пусковые установки; противоракетная система морского базирования; зенитно-ракетный комплекс.

Появление в СССР ядерного оружия и межконтинентальных баллистических ракет (МБР) поставило перед военно-политическим руководством США проблему нейтрализации ответного или ответно-встречного ракетного удара со стороны Советского Союза.

Американские специалисты не пошли по пути поражения боеголовок МБР методом подрыва в космосе или верхних слоях атмосферы мощных ядерных зарядов - по их мнению, некоторое количество боеголовок все равно могло преодолевать барьер из взрывов ядерных противоракет. Даже выведенные из строя боевые блоки МБР могли продолжать полет и представлять собой реальную угрозу.

В результате развитие систем ПРО в США и СССР (а затем в России) пошло разными путями. Отечественные конструкторы продолжали развивать методы поражения воздушных и космических целей взрывом, то есть шрапнельным способом [4]. В США же получила развитие идея кинетического поражения - то есть противоракета в неядерном исполнении должна непосредственно столкнуться с боевым блоком, при этом происходит превращение обоих встречающихся физических тел в плазму. По понятным причинам это приводит к существенному усложнению системы наведения ракеты-перехватчика – ведь потребная точность наведения будет составлять единицы сантиметров. Такая задача более или менее успешно решается для целей, летящих по баллистической траектории, однако боевые блоки современных отечественных ракет на конечном участке полета осуществляют ряд маневров, что делает проблематичным попытки уничтожить их таким способом. Кроме того, существует теоретическая вероятность сбить и саму ракету-перехватчик, не дав ей возможности встретиться с целью.

Последующее развертывание огневых средств системы противоракетной обороны (ПРО) вблизи границ России было вызвано в первую очередь тем, что создать эффективную систему поражения российских боевых блоков над территорией США на

сегодняшний день невозможно. Потому предполагается бороться с МБР не на конечном участке полета, а на взлете и разгоне, когда они имеют относительно небольшие скорости и не маневрируют. При этом оставляется возможность перехватить боеголовки позже.

В США в 1975 году на авиабазе Гранд-Форкс была развернута и поставлена на боевое дежурство система ПРО «Сейфгард» с функционалом, аналогичным отечественной системе А-35, однако практически сразу по разным причинам Конгресс США принял решение о прекращении работ по проекту.

В 1983 году администрацией президента США Р.Рейгана было объявлено о создании системы ПРО, получившей название «Звездные войны» – планировалось разместить в космосе несколько эшелонов боевых космических аппаратов, вооруженных противоракетами или боевыми лазерами. Хотя в итоге это оказалось блефом, который должен был заставить СССР тратить огромные ресурсы на создание асимметричных и симметричных систем и средств, был дан толчок к дальнейшему развитию технически и экономически реализуемых систем ПРО обеими сторонами.

Так очередным этапом развития системы ПРО США стало создание противоракет *GBI* (*Ground-Based Interceptor* - перехватчик наземного базирования), опытные прототипы сначала которых разрабатывались на базе второй и третьей ступеней, снятых с вооружения МБР «Минитмен-2». Прототип представлял собой трехступенчатую ракету-перехватчик (длина 16,8 м, диаметр 1,27 м, стартовой масса 13 т) с максимальной дальностью стрельбы порядка 5000 км.

Затем опытно-конструкторские работы велись уже со специально спроектированной противоракетой *GBI*, на которой использовались разгонные ступени твердотопливной ракеты-носителя *Taurus*. Стартовая масса серийной противоракеты значительно увеличилась и, по различным данным, составляет от 17 до 21 тонн при длине 16,61 м и диаметром 1,28 м. Дальность стрельбы варьируется в зависимости от высоты траектории от 2000 до 5500 км с максимальной досягаемостью по высоте в 2 000 км [2]. Всего было произведено 18 натурных испытаний противоракет *GBI* с перехватом баллистических целей (17 – имитаторов боевых блоков баллистических ракет средней дальности, и одно – имитатора МБР). Только десять перехватов были признаны удачными.

Развертывание перехватчиков *GBI-EKV* началось в конце 2010 года, хотя строительство шахтных пусковых установок для них в Форт-Грили на Аляске началось в 2002 году – то есть задолго до окончания испытаний. В настоящее время на базе Гранд-Форкс развернуты более 30 противоракет *EKV* (*Exoatmospheric Kill Vehicle* – *заатмосферного перехватчика*), которые запускаются с помощью специальной трёхступенчатой ракеты носителя *GBI*.

Противоракета выводит в космос кинетический перехватчик *EKV* (разработка фирмы *Raytheon*) массой около 65 кг со скоростью до 8,3 км/с., который оснащен инфракрасной системой наведения, собственным двигателем и рассчитан на прямое попадание в боеголовку. При столкновении боевого блока и перехватчика *EKV* их суммарная скорость составляет приблизительно 15 км/с, что обеспечивает взрыв, эквивалентный нескольким сотням килограмм тротила.



Рисунок 1 – Загрузка серийной противоракеты GBI в шахтную пусковую установку



Рисунок 2 – Прототип кинетического перехватчика EKV

Шахты с противоракетами имеются на авиабазе Ванденберг (шт. Калифорния) – отсюда в основном осуществляются испытательные пуски, но, по некоторым открытым публикациям, на авиабазе Ванденберг перехватчики *GBI-EKV* несут боевое дежурство в ШПУ, где ранее размещались МБР «Минитмен-3».



Рисунок 3 – Испытательный пуск противоракеты GBI на авиабазе Ванденберг

Также велась и разработка усовершенствованной модели космического перехватчика *MKV* (*Miniature Kill Vehicle* – миниатюрная «машина-убийца») массой всего 5 кг в предположении, что противоракета *GBI* будет нести более десятка перехватчиков *MKV* с целью существенного повышения боевых возможностей средства и системы в целом, однако из-за высокой сложности и стоимости эта программа была заморожена.

В настоящее время осуществляется модернизация противоракет *GBI* и соответствующей наземной инфраструктуры. Кроме того, компании *Lockheed Martin* и *Northrop Grumman* работают над созданием новой противоракеты *NGI* (*Next generation interceptor* – перехватчик нового поколения). Общая стоимость создания и развёртывания перехватчиков *NGI* оценивается в \$17,7 млрд, а цена одной противоракеты составит приблизительно \$75 млн [2].

На сегодняшний день на территории США установлено 44 ракеты-перехватчика шахтного базирования – комплекс пусковых установок развернут на базе Форт-Грили на Аляске (40 ракет-перехватчиков) и на базе ВВС Ванденберг (4 ракеты-перехватчика) в Калифорнии.

В настоящее время Пентагон строит новое поле для ракет-перехватчиков в Форт-Грили, на котором планируется разместить дополнительно еще 20 новых перехватчиков, в результате чего общее количество пусковых установок достигнет 64 единиц [5].

На принципе кинетического перехвата строится и морская ПРО – США принимают на вооружение всё больше кораблей, оснащённых системой *Aegis* и противоракетами *SM-3*. Пока что на вооружении США имеется модификация *Block IA*, в скором времени ожидается *Block IB*, которые смогут поражать ракеты с радиусом действия до

3000 км. В дальнейшем планируется постановка на вооружение модификации *Block PA*, которая сможет сбивать ракеты большого радиуса действия – до 6000 км, и далее – создание модификации *Block PB*, которая должна эффективно бороться с МБР.



Рисунок 4 – Перехватчик *GBI-EKV* в ШПУ на ракетной базе Форт-Грили



Рисунок 5 – Спутниковый снимок *Google Earth*: шахтные пусковые установки перехватчиков *GBI-EKV* на базе Форт-Грили

По планам Пентагона, в ближайшие 20 лет противоракетной системой *Aegis* будет оснащено до 90 боевых кораблей: число противоракет *SM-3* на боевых кораблях ВМС США в 2015 году составляло 436 единиц, в 2021 году их число превысило цифру 500. Предполагается, что американские корабли с противоракетами *SM-3* будут нести боевое дежурство преимущественно в тихоокеанской зоне [2]. Необходимо заметить, что, несмотря на заявленные характеристики системы *Aegis*, в 2009 году из 10 перехваченных боевых блоков только 2 были уничтожены, остальные были сбиты с курса.



Рисунок 6 – Корабль ВМС США, оснащенный противоракетами

Для защиты от ракетных ударов объектов в Европе планируется использовать сухопутные комплексы системы противоракетной обороны *Aegis – AAMDS (AEGIS Ashore Missile Defense System)*.



Рисунок 7 – Наземный комплекс Aegis Ashore

В 2016 году был введен первый наземный комплекс *Aegis Ashore*, расположенный на 99 авиабазе Девеселу в южной части Румынии. На базе размещен комплекс ПРО *Aegis Ashore* («Иджис Ашор»), включающий в себя РЛС с фазированной антенной решеткой *Lockheed Martin AN/SPY-1* и три 8-ячеечных модуля системы вертикального пуска (*Vertical Launch System / VLS*) Mk 41 с 24 противоракетами *Raytheon RIM-161C SM-3 Block IV*. По сути, на суше был размещен корабельный комплекс ПРО *AEGIS Ballistic Missile Defense (BMD)/SM-3*. Именно поэтому за его эксплуатацию отвечают ВМС США.

В апреле-августе 2019 г. база ПРО в Девеселу прошла плановое техническое обслуживание и модернизацию. На это время в Девеселу были развернуты две американские мобильные противоракетные системы *THAAD (Terminal High Altitude Area Defense)*, по восемь ракет-перехватчиков на каждой системе, из состава 69-й артиллерийской бригады ПВО. Это было первое размещение таких систем ПРО в Европе. В начале сентября 2019 г. они были возвращены на свою базу Форт-Худ (штат Техас) на континентальной части США.

По состоянию на ноябрь 2019 г. здесь находились 500 румынских военнослужащих и гражданских лиц и 250 американских военнослужащих и гражданских лиц. По состоянию на февраль 2023 г. численность американских военнослужащих не изменилась [1].

В завершающей стадии доводки находится аналогичный объект, расположенный на севере Польши, в 17 км от Балтийского побережья в окрестностях населённого пункта Редзиково.

Первоначально комплекс *AAMDS* на территории Польши должен был быть развернут в 2018 году. Но из-за технических проблем постановка на боевое дежурство перенесена на 2022 год. Сообщается, что в декабре 2021 года готовность комплекса составляла 98%. В мае 2021 года на объект были доставлены четыре радиолокационные станции *SPY-1D(V)* и система управления огнем. К 2022 году в пусковые установки были загружены ракеты.

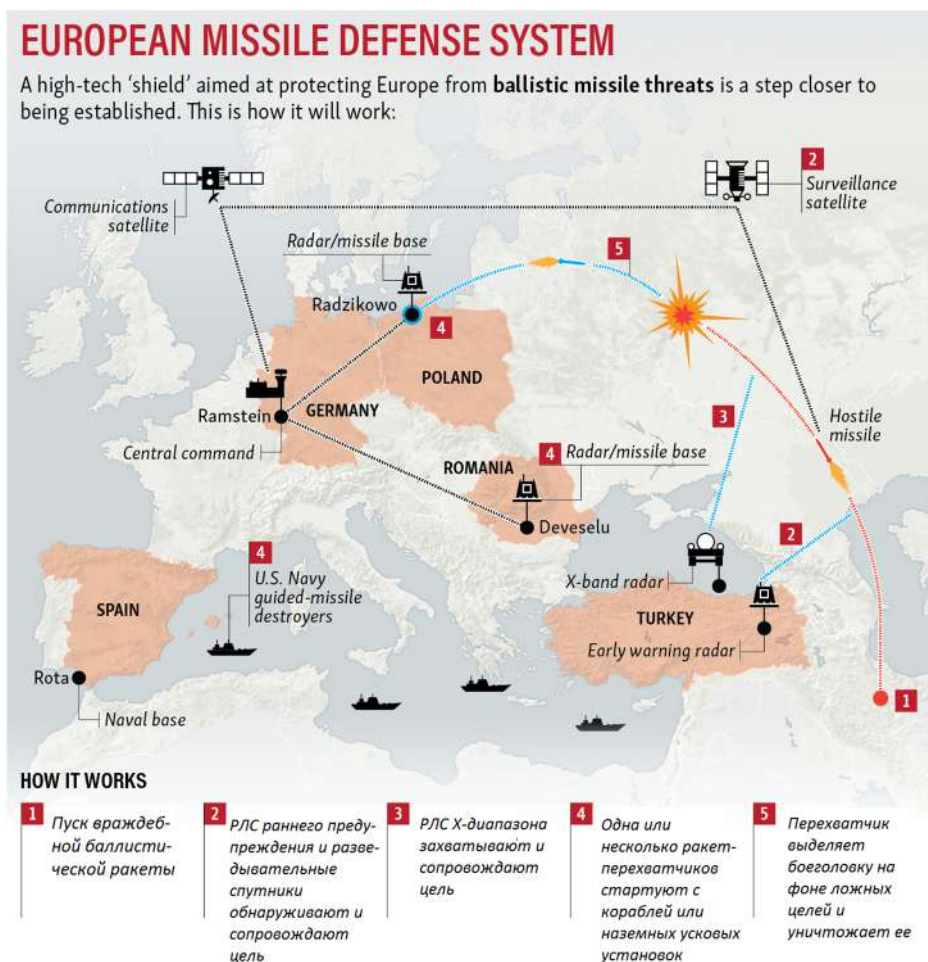


Рисунок 8 – Порядок применения системы ПРО НАТО в Европе

Пентагон запросил у Конгресса США на дальнейшее создание и развертывание различных элементов системы ПРО на 2022 финансовый год (начался 1 октября 2021 года) \$20,4 млрд, в том числе \$43,2 млн на модернизацию базы в Румынии и завершение строительства в Польше. В прошлом финансовом году Агентство по ПРО затребовало дополнительно \$96 млн на объект в Редзиково [3].

Таким образом, система ПРО в Европе состоит из мобильной радиолокационной станции *AN/TPY-2* в Турции и комплексов *Aegis Ashore* в Румынии и Польше. Комплекс в Румынии был размещен в 2016 году, в Польше планировалось его введение в строй в 2023 году.

Кроме этого в Европе сформирован морской компонент американской ПРО. Он состоит из нескольких эсминцев с *Aegis* и ракетами-перехватчиками *SM-3*. Они размещены на военно-морской базе Рота в Испании [2].

В общей системе ПРО США (рисунок 10) для перехвата баллистических ракет малой и средней дальности в атмосфере и за ее пределами на конечном этапе полета в 1990-е годы был разработан, испытан и поступил в войска мобильный комплекс ПРО *THAAD* (*Terminal High-Altitude Area Defense*), в задачи которого входит передовое прикрытие стратегических военных баз, аэродромов и подобных объектов тыла.

Включает три пусковые установки, 24 противоракеты и командный пункт. Впервые поступил на вооружение армии США в 2008 году и по оценкам экспертов способен сбивать цели при скорости до 3 км/с на высоте до 150 км и на удалении 200 км. Радиус действия радиолокатора комплекса составляет до 2 тыс. км [6].



Рисунок 9 – Пусковая установка комплекса THAAD

В качестве средства тактической противоракетной обороны от баллистических ракет малого радиуса действия используется последняя модификация армейского зенитно-ракетного комплекса Patriot [2].



Рисунок 10 – Обобщенный состав системы ПРО США



Рисунок 11 – Зенитно-ракетный комплекс *Patriot*

Таким образом, по заявлению военно-политического руководства США национальная система противоракетной обороны предназначена исключительно для защиты от случайных пусков и противодействия баллистическим ракетам стран-изгоев.

Проведенный анализ показал, что сегодня американские средства ПРО обладают ограниченными возможностями по защите от массированного ракетно-ядерного удара. Об этом говорит небольшое количество противоракет *GBI* – 44, а также вероятность поражения цели космическим перехватчиком *EKV* – 0,5.

Согласно сведениям, опубликованным в открытых источниках, на эсминцах, крейсерах и в сухопутных пусковых установках США могут иметь до 550 противоракет *SM-3*.

Система противоракетной обороны *Aegis BMD 5.0.1*. с ракетами *SM-3 Block IV* в ходе испытаний подтвердила способность успешно бороться с баллистическими ракетами средней дальности. Но их возможности по борьбе с боевыми блоками МБР являются ограниченными и ухудшаются прямо пропорционально высоте и скорости полёта боеголовки.

Если противоракеты *SM-3* и могут перехватывать боевые блоки МБР, то в весьма ограниченном секторе, для чего старт перехватчика должен состояться в строго определённое время из заданной географической точки. Кроме того, РЛС системы *Aegis* не способны самостоятельно вести поиск цели на необходимой для перехвата МБР дистанции, и им требуется предварительное целеуказание от стационарных РЛС системы предупреждения о ракетном нападении *AN/FPS-132* и *LRDR* или плавучей *SBX-1*, что в условиях глобального конфликта с технологически развитым противником не гарантировано.

Литература

- 1 <http://eurasia.expert>. Зверев Ю. Военная инфраструктура, силы и средства НАТО и США в Румынии. – 27 апреля 2023.
- 2 <http://ria.ru>. Национальная система противоракетной обороны США. – 23 марта 2023.
- 3 <http://tass.ru>. Пентагон достроил базу ПРО в Польше. – 10 марта 2022.
- 4 <http://dzen.ru>. Американская и российская противоракетная оборона: чья защита от ракет лучше. – 24 января 2022.
- 5 <http://topwar.ru>. Линник С. Национальная противоракетная оборона США: возможности и места размещения. – 18 февраля 2022.
- 6 <http://tass.ru>. Азанов Р. Противоракетный бой скоротечен. – 22 января 2020.

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

Область научных интересов: космические технологии; вооружение и военная техника.
Email: NOC.RNV@goz.ru.

Шевченко Виктор Федорович – доктор технических наук, профессор, заместитель директора департамента, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей»», г. Москва.

Область научных интересов: космические технологии; вооружение и военная техника.
Email: NOC.RNV@goz.ru.

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

CURRENT STATUS AND DEVELOPMENT PROSPECTS US MISSILE DEFENSE SYSTEMS

The article discusses the main approaches to creating US missile defense. The stages of creating GBI anti-missiles and EKV interceptors and their main characteristics are analyzed. The naval component of the US missile defense system is shown. The composition and main characteristics of the missile defense system in Europe are considered. In addition, the THAAD complex, designed to intercept short- and medium-range ballistic missiles in the atmosphere and beyond at the final stage of flight, and the latest modification of the Patriot army anti-aircraft missile system are considered.

Keywords. missile defense; ballistic missiles of various ranges; kinetic interceptor; silo launchers; sea-based missile defense system; anti-aircraft missile system.

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

Research interests: space technologies; weapons and military equipment.

Shevchenko Viktor Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Deputy Director of the Department, JSC Concern VKO Almaz-Antey, Moscow.

Area of scientific interests: space technologies; weapons and military equipment.

УДК 621.396.26:621.396.96

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ РАДИОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ БЛИЖНЕЙ НАВИГАЦИИ

Криворучко Ю.Т., Король В.М., Княжский А.Ю., Шатраков Ю.Г.

В статье проводится анализ современного состояния радиотехнических систем ближней навигации и предлагаются перспективные направления ее развития. В качестве основного направления развития предлагается переход функционирования РСБН из дециметрового диапазона в сантиметровый, в первую очередь каналов посадочной радиомаячной группы: азимутального, угломестного и дальномерного. Предлагаемый формат сигналов азимутального и угломестного каналов получил наименование «сканирующего луча с опорным временем», а формат дальномерного канала реализуется по методу «вторичной радиолокации».

Ключевые слова: радиотехническая система ближней навигации (РСБН), посадочная радиомаячная группа (ПРМГ), сканирующий луч с опорным временем, микроволновая система посадки, когнитивная обработка радионавигационных сигналов, комплексный стенд испытаний.

Введение

Отметим четыре определяющих этапа в становлении отечественной ближней радионавигации. Первый этап – изобретение радио А.С.Поповым и его экспериментальные работы по отражению радиосигналов от кораблей. Второй этап – монография «Радиомаяки» [1], изданная в 1936 году в СССР авторами Баженовым В.И. и д.т.н. профессором Мясоедовым Н.А., которая явилась первым теоретическим и практическим руководством по радиомаякам, а ее автор Баженов Валериан Иванович фактически стал «отцом» советской радионавигации. Третий этап – разработка в 1939 г. в СССР первой отечественной инструментальной системы «Ночь-1» для обеспечения посадки в ночное время бомбардировщиков ДБ-3 во время военного конфликта с Финляндией. Главным конструктором этой системы был сотрудник НИИ-33, в последующем ВНИИРА, Векслин И.М. Четвертый этап – разработка под руководством Г.А.Пахолкова в конце 50-х годов первой отечественной азимутально-дальномерной радиотехнической системы ближней навигации (РСБН), обладающей высокой точностью определения навигационных параметров, работающей в дециметровом диапазоне волн [2].

1 Принципы работы РСБН/ПРМГ

1.1 Принцип работы азимутального канала РСБН

В азимутальном канале РСБН используется формат сигнала, получивший наименование «сканирующего луча с опорным временем».

Он обеспечивается равномерным вращением остронаправленной диаграммы передающей антенны радиомаяка в азимутальной плоскости. При этом в бортовом оборудовании на самолете измеряется время между «опорным северным» сигналом, излу-

чаемым всенаправленной антенной радиомаяка и соответствующим моменту направления сканирующей антенны на север, и азимутальным импульсом, связанным с облучением данного самолета направленной антенной. Задача сводится к измерению текущего времени, однозначно соответствующего данному азимуту.

В отечественной системе РСБН применена двухлепестковая диаграмма направленности азимутальной антенны радиомаяка, имеющая достаточно резкий минимум между лепестками.

В бортовом оборудовании системы происходит формирование короткого азимутального импульса с фиксацией по минимуму провала в диаграмме направленности антенны.

1.2 Принцип работы дальномерного канала РСБН

Дальномер системы РСБН использует принцип вторичной радиолокации «запрос-ответ». Канал радиодальномера РСБН содержит бортовой передатчик, излучающий импульсы длительностью порядка 1,5 мкс.

Эти импульсы принимаются приемником наземного радиомаяка, декодируются, задерживаются на величину фиксированной задержки, кодируются и модулируют наземный передатчик. Ответные сигналы излучаются и принимаются на борту ЛА. Время прохождения сигнала от ЛА до наземного приемопередатчика и обратно определяет наклонную дальность до наземного радиомаяка с учетом поправки на время фиксированной задержки в радиомаяке.

Следует отметить, что скорость распространения радиоволн зависит от состояния среды распространения (ее влажности, давления, температуры).

Таким образом, в различных условиях полета может появиться дополнительная ошибка, достигающая нескольких десятков метров, что для точных радиодальномеров имеет существенное значение.

В системах РСБН/ПРМГ измеряемыми навигационными величинами являются:

- расстояния между самолетами, от самолета до наземного радиомаяка или до точки приземления;
- азимут самолета относительно заданного направления полета;
- отклонение курса и глиссады от равносигнальных направлений планирования при посадке;
- направления на другой самолет в режиме «Встреча».

РСБН представляет собой комплекс наземного и бортового оборудования (рисунок 1) [4, 5].

В состав наземного оборудования РСБН входят: азимутально-дальномерный радиомаяк (АДРМ), посадочная радиомаячная группа (ПРМГ), включающая курсовой радиомаяк (КРМ), глиссадный радиомаяк (ГРМ), ретранслятор дальномера (РД) и выносной индикатор кругового обзора (ВИКО). Бортовое радиоэлектронное оборудование (БРЭО) РСБН состоит из антенно-фидерной системы (АФС), приемно-передающих модулей, измерителя навигационно-посадочных параметров и вычислительного устройства.

Технические характеристики наземных азимутально-дальномерных радиомаяков РСБН и ПРМГ приведены в таблице 1.

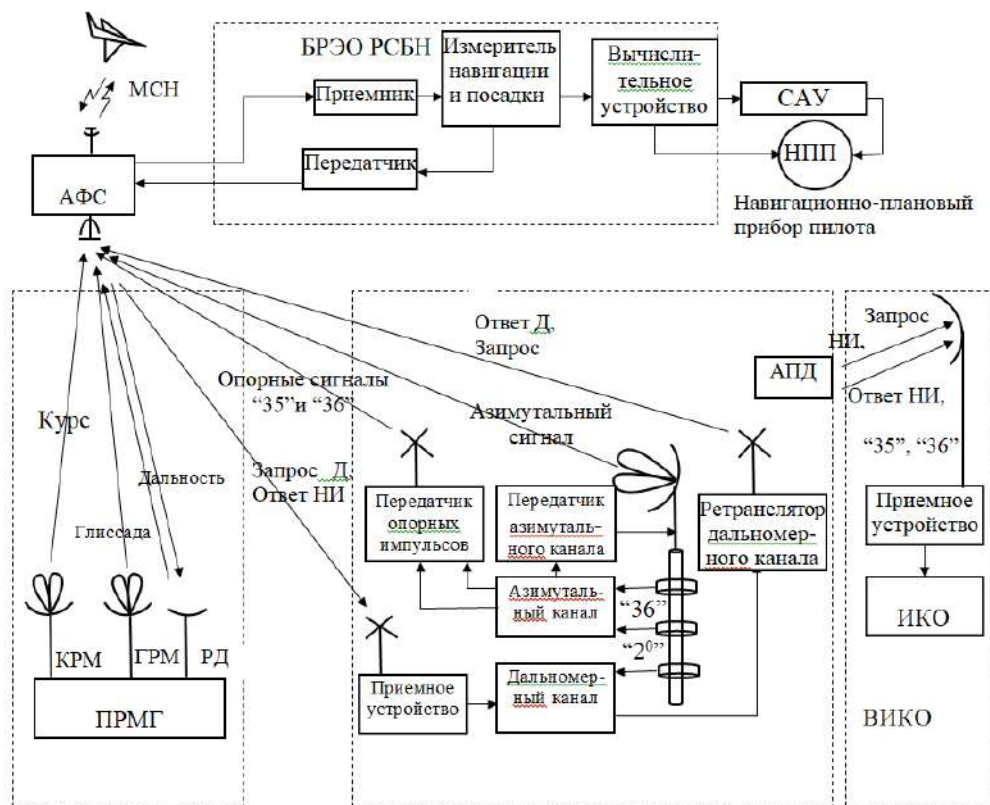


Рисунок – 1 Структурная схема РСБН/ПРМГ

Основным назначением азимутально-дальномерного радиомаяка РСБН является передача на борт самолетов сигналов об азимуте и дальности самолета, обработка которых на борту ВС позволяет определять текущие значения этих параметров, а также определение этих параметров на земле и отображение на выносном индикаторе кругового обзора (ВИКО).

Кардинальным шагом в направлении оптимизации принципа работы РСБН была разработка и внедрение в 80-е годы прошлого века так называемого направленного режима работы (НР) системы в целом в сравнении с всенаправленным (ВР), который продолжает применяться до настоящего времени. НР позволяет осуществить увеличение энергетического потенциала системы РСБН, увеличить количество используемых частотно-кодовых каналов и одновременно решить задачу высвобождения занимаемого системой РСБН/ПРМГ диапазона частот 873-960 МГц и 726-790 МГц в интересах сотовых систем подвижной связи и цифрового телевидения [7, 8].

Для практического воплощения этих задач во «ВНИИРА» в 2012 г. была завершена разработка азимутально-дальномерного радиомаяка IV поколения «Тропа-СМ» (рисунок 2).

Основной особенностью АДРМ «Тропа-СМ» является то, что работа обеспечивается только в «направленном режиме» в международном диапазоне частот 962,0-1000,5 МГц.

Т а б л и ц а 1 – Характеристики наземных азимутально-дальномерных радиомаяков

Канал НАВИГАЦИЯ	
Дальность действия системы	не превышает 500 км (зависит от высоты полета);
Диапазон рабочих частот	700-1000 МГц
Погрешность измерения при работе с радиомаяками РСБН	
- азимута(2 σ)	$\pm 0,25^\circ$
- дальности (2 σ)	$\pm (200 \text{ м} + 0,03 \% \text{Д}) \text{ м}$
Пропускная способность системы	по каналу азимута – неограниченное количество самолетов по каналу дальности – не более 100 самолетов
Канал ПОСАДКА	
Диапазон рабочих частот КРМ	905-935 МГц;
Диапазон рабочих частот ГРМ	940-1000 МГц
Частоты модуляции КРМ и ГРМ	F1=1300Гц; F2=2100 Гц;
Частота коммутации антенн КРМ и ГРМ	12,5 Гц
Погрешность измерения при работе с радиомаяками ПРМГ	
в режиме «ПОСАДКА»	соответствует ГОСТ 15827-70 и обеспечивает II категорию посадки
Канал УВД	
Точность определения местоположения самолета на ВИКО	
- по азимуту	$\pm 1,5^\circ$
- по дальности	на масштабе 100 км ± 2 км; на масштабе 400 км ± 5 км



Рисунок 2 – Азимутально-дальномерный радиомаяк IV поколения «Тропа-СМ»

2 Роль и место РСБН и систем посадки в навигационном обеспечении перспективных ЛА

Летательные аппараты необходимо обеспечивать радионавигационной информацией во всем диапазоне высот и дальностей полета. В процессе развития радионавигации летательных аппаратов в мире создан целый ряд систем определения местоположения ЛА. Эти системы, а именно: радиосистемы ближней навигации (РСБН), радиосистемы дальней навигации (РСДН), спутниковые радионавигационные системы (СРНС) и другие – проектировались как системы, формирующие радионавигационное поле и позволяющие на каждом подвижном объекте определять свое местоположение. Для создания сплошного радионавигационного поля представляется целесообразным интегрирование радионавигационных систем, включая глобальную спутниковую систему навигации GNSS (GPS и ГЛОНАСС), радиотехническую систему ближней навигации РСБН и локальную систему относительной навигации [3, 16]. При этом глобальная спутниковая система навигации обеспечит создание первичного радионавигационного поля. Система РСБН обеспечит создание вторичного радионавигационного поля. А локальная система относительной навигации обеспечит третичное радионавигационное поле.

Анализ использования РСБН/ПРМГ в Сирии показал необходимость совершенствования, как непосредственно системы РСБН, так и инструментальной системы посадки ПРМГ. Представляется, что основным направлением совершенствования системы ближней навигации является поэтапный переход в более высокочастотный диапазон, в частности, в диапазон 5 ГГц, закрепленный за системой МСП. Создание интегрированной системы РСБН/ МСП позволит повысить надежность, помехозащищенность и безопасность посадки ЛА. Диапазон МСП имеет резервные полосы для размещения каналов РСБН, в частности, дальномерного канала. При переходе РСБН/МСП в более высокочастотный диапазон появляется возможность использования сверхширокополосных радиосигналов для повышения помехозащищенности системы [14, 15].

Для повышения точности навигации интегрированной системы РСБН/МСП возможно введение когнитивной обработки сигналов в азимутальном, угломестном и дальномерном каналах, что может быть реализовано с использованием платформ на основе отечественного микропроцессорного комплекта «Мультикор» [9-12].

В результате перехода в сантиметровый диапазон уменьшатся габариты антенн наземного комплекса системы РСБН/МСП.

Кроме того, работа в новом частотном диапазоне позволяет реализовать дополнительный канал передачи данных по линиям «Борт-Земля» и «Борт-Борт».

Представляется целесообразным провести оценку возможности повышения точности РСБН/МСП за счет:

- введения квазиогерентного режима работы РСБН с помощью использования высокостабильных опорных генераторов и передачи образца сигнала от земли на борт (также необходимо определить тип и характеристики образца сигнала по аналогии с когнитивным режимом, реализованным в СРНС) [6, 13];

- использования формата микроволновой системы посадки для работы в режиме РСБН за счет увеличения области покрытия излучаемого сигнала от сектора до 360 град. Область покрытия возможно увеличить вращением источника сигнала, либо

совместным использованием нескольких источников сигналов с совмещенными диаграммами направленности.

Комплексный стенд испытаний (КСИ) является эффективным инструментом Главного конструктора системы по обеспечению требований ТТЗ, обеспечению сроков создания системы, конкурентоспособности и сокращения временных затрат.

Комплексный стенд испытаний является аналогом летающей лаборатории, применяемой для инспекционного облета наземных систем навигации и посадки, включая РСБН/ПРМГ. Состав оборудования, размещенного в КСИ, соответствует составу оборудования летающей лаборатории (ЛЛ). Отличие КСИ, включающего телескопическую мачту с бортовой антенной, заключается в проведении оценки функционирования системы РСБН/ПРМГ в ближней зоне в пределах аэродрома. Важной особенностью КСИ является мобильность в пределах аэродрома, а также возможность проверки отклонений курса, глиссады и дальности от заданных ГОСТ значений в опорной точке на срезе взлетно-посадочной полосы на высоте 15 м.

В ходе проектирования и разработки системы ПРМГ-ОМД [8] были определены структура и основные составляющие части КСИ (рисунок 3).

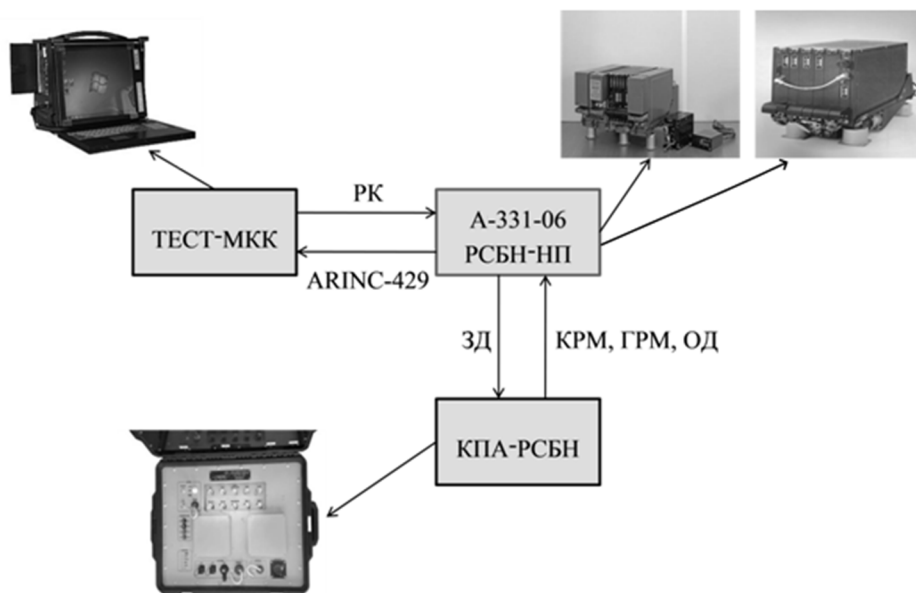


Рисунок 3 – Структура комплексного стенда испытаний (КСИ)

3 Перспективные направления развития РСБН/МСП

1 Создание интегрированной радионавигационно-посадочной системы на основе первичного радионавигационного поля GNSS в диапазоне 1,2-1,6 ГГц (GPS/ГЛОНАСС) и вторичного радионавигационного поля РСБН/МСП в диапазоне 5 ГГц [10, 14].

2 Перевод РСБН/МСП в более высокочастотный диапазон позволит использовать сверхширокополосные сигналы для повышения помехозащищенности и помехоустойчивости системы [13].

3 Повышение точности определения координат ЛА в интегрированной системе РСБН/МСП на основе введения квазикогерентного режима работы системы на базе

высокостабильных эталонов единого времени как в наземном, так и в бортовом оборудовании [6, 12].

4 Расширение функциональных возможностей системы РСБН/МСП введением в линию передачи данных «Земля-Борт» формата МСП дополнительных режимов передачи данных «Борт-Земля» и «Борт-Борт».

5 Для обеспечения навигации в условиях Крайнего Севера целесообразно создание третичного радионавигационного поля для реализации в системе РСБН/МСП режима локально-глобальной многопозиционной системы относительной навигации [2, 15].

6 При разработке интегрированной системы РСБН/МСП для обеспечения жестких требований заказчика по надежности и массогабаритам очень важно максимально использовать когнитивную обработку сигналов и данных, реализованную на микропроцессорных платформах программно определяемого радио и твердотельной СВЧ элементной базе отечественной разработки [9, 10].

7 Расширение функций комплексного стенда испытаний как в части программно-аппаратной отладки интегрированной радионавигационной системы РСБН/МСП на этапах испытаний, экспресс-контроля, сдачи системы заказчику, так и в части создания комплексов математического и полунатурного моделирования составных частей интегрированной радионавигационной системы РСБН/МСП.

Литература

1 Баженов В.И., Мясоедов Н.А. Радиомаяки. Т. I, II. – М.: Госиздат по технике связи, 1935-1936. – 672 с.

2 Громов Г.Н., Пахолков Г.А. Развитие радиотехнических систем и средств УВД, навигации и посадки летательных аппаратов в СССР // Вопросы радиоэлектроники – Серия ОВР. – 1987. – Выпуск 5. – С.3-11.

3 Громов Г.Н. Принципы построения локально-глобальной многоабонентной системы относительной навигации / Г.Н.Громов, А.Г.Герчиков, Д.А.Наливайко и др. // Вопросы радиоэлектроники. – Серия ОВР. – 1990. – Выпуск 21. – С.3-12.

4 Криворучко Ю.Т. Особенности построения и основные характеристики радиотехнических систем ближней навигации / Ю.Т.Криворучко, С.А.Мясников, В.А.Синицын // Инновационные технологии и технические средства специального назначения: Труды десятой общероссийской научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 15-16 ноября 2017 года. Том 1. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет «Военмех», 2018. – С.342-345.

5 Пахолков Г.А. Обработка сигналов в радиотехнических системах ближней навигации / Г.А.Пахолков, Г.Е.Збрицкая, Ю.Т.Криворучко, Б.В.Пономаренко, Ю.Г.Штраков. – М.: Радио и связь, 1992. – 256 с.

6 Вострецов А.Г., Павлов А.С. Влияние точности синхронизации подсистемы связи радиотехнических систем ближней навигации на характеристики приема // Сборник научных трудов НГТУ. – 2007. – № 1(47). – С.25-28.

7 Ершов Г.А. Устойчивость радиотехнической системы ближней навигации и посадки к внесистемным активным помехам / Г.А.Ершов, С.А.Мясников, М.И.Недобежкин // Новости навигации. – 2019. – № 1. – С.10-14.

8 Ершов Г.А. Радиомаячная система инструментального захода воздушных судов на посадку категории II для работы в дециметровом отечественном и международном диапазонах волн ПРМГ-ОМД / Г.А.Ершов, В.М.Король, Ю.Т.Криворучко и др. // Новости навигации. – 2017. – № 1. – С.16-19.

9 Криворучко Ю.Т., Музелин Ю.Н., Сеницын Е.А., Сеницын В.А. Когнитивные бортовые магистрально-модульные системы обработки радионавигационных сигналов // Инновационные технологии и технические средства специального назначения: Труды XII общероссийской научно-практической конференции. В 3-х томах, Санкт-Петербург, 20-22 ноября 2019 года. – Санкт-Петербург: Балтийский государственный технический университет «Военмех». – 2020. – С.148-154.

10 Криворучко Ю.Т. Шатраков Ю.Г. Микроволновая система посадки маневренных самолетов государственной авиации на принципах когнитивной обработки // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. – 2023. – Т. 6, № 3. – С.294-307.

11 Mitola J. III «Software Radio Architecture: A Mathematical Perspective», IEEE JSAC, Vol. 17, № 4, pp. 514-538.

12 Криворучко Ю.Т. Когнитивный экспресс-контроль СВЧ систем инструментальной посадки ПРМГ, MLS с помощью мобильного комплексного стенда испытаний / Ю.Т.Криворучко, Ю.Г.Шатраков, Е.С.Щербаков // СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. – 2022. – № 4. – С.24-26.

13 Басевич Я.С. Применение свойства когерентности сигналов РСБН для повышения помехозащищенности дальномерного и индикаторного каналов / Я.С.Басевич, Ю.А.Игнатъев, И.М.Файнгольд // Вопросы радиоэлектроники. – Сер. ОВР. – 1985. – Выпуск 4. – С.10-15.

14 Брауде-Золотарев Ю.М. Алгоритмы и технологии сверхширокополосных сигналов // Радиотехника. – 2011. – № 9. – С.23-29.

15 Беляцкий Ю.В. О формате сигнала дальномерного канала MLS // Научно-технические проблемы создания и внедрения новой международной системы посадки самолетов (МСП). Материалы Всесоюзной НТК (15-16 марта 1979 года). – С. 56-67.

16 Баушев С.В., Липаков Н.Е. Формализованное описание навигационного обеспечения групп летательных аппаратов с использованием вторичного навигационного поля // Радионавигация и время. – 2020. – № 6(14). – С.118-126.

Криворучко Юрий Тимофеевич – доктор технических наук, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: интегрированные комплексы навигации и посадки, системы когнитивной цифровой обработки радионавигационных сигналов, программно-определяемое радио.

Email: krivoruchko.yuri@mail.ru

Король Виктор Михайлович – к.т.н., главный научный руководитель АО «Обуховский завод».

Область научных интересов: радиолокация и радионавигация.

Email: knjagskij1@mail.ru

Княжский Александр Юрьевич – к.т.н., начальник экспертного отдела, АО «Обуховский завод».

Область научных интересов: радиолокация и радионавигация.

Email: knjagskij@mail.ru

Шатраков Юрий Григорьевич – д.т.н., профессор, Заслуженный деятель науки РФ, ученый секретарь, АО «Обуховский завод».

Область научных интересов: аэронавигация, радиолокация и радионавигация.

Email: 190801@mail.ru,

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

PROMISING DIRECTIONS FOR THE DEVELOPMENT OF SHORT-RANGE RADIO-TECHNICAL NAVIGATION SYSTEM

The article analyzes the current state of short-range navigation radio systems (RSBN) and substantiates the need to predict their role and place in solving the problem of navigation support for aircraft against the background of existing and developing navigation systems for the coming decades. Depending on the results of the forecast, it is proposed to make a decision on the need to develop the appearance of a promising short-range radio engineering system, or to replace its functions with other types of navigation systems.

Key words: short-range radiotechnical navigation system, landing radio beacon group, microwave landing system, cognitive processing of radio navigation signals, prospects for the development.

Krivoruchko Yuri Timofeevich– Doctor Technical Sciences, Professor of St. Petersburg State University of Civil Aviation, chief designer, JRC «Obukhov Plant», St. Petersburg.

Research interests: integrated systems navigation and landing, cognitive digital processing, software defined radio.

Korol Viktor Michailovich, Ph.D., chief scientific director of JRC «Obukhov Plant».

Research interests: radar and radio navigation.

Knyazhsky Alexander Yurievich, Ph.D., head of the expert department of JRC «Obukhov Plant».

Research interests: radar and radio navigation.

Shatrakov Yuri Grigorievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Honored Scientist of the Russian Federation, Scientific Secretary of JRC «Obukhov Plant».

Research interests: air navigation, radar and navigation.

УДК 621.396.26:621.396.96

МОБИЛЬНАЯ МИКРОВОЛНОВАЯ СИСТЕМА ПОСАДКИ – АЛЬТЕРНАТИВА СПУТНИКОВОЙ ПОСАДКЕ

Криворучко Ю.Т., Плясовских А.П.

В статье рассмотрена мобильная микроволновая система посадки (МСП), как возможная альтернатива спутниковой системе посадки. Основной принцип реализации МСП – это формирование узконаправленных диаграмм направленности (ДН) с электронным сканированием для азимутального и угломестного лучей. При этом когнитивная технология, включающая совокупность процессов приобретения, преобразования и использования накопленных знаний, реализуется на основе доверенных вычислительных платформ систем на кристалле (СНК). Микроволновая система посадки (МСП) в состав которой входят наземное и бортовое оборудование, дополняется комплексным стендом испытаний для оценки распределения ошибок между наземным и бортовым оборудованием.

Ключевые слова: микроволновая система посадки, государственная авиация, когнитивная обработка, комплексный стенд испытаний.

Введение

Микроволновая система посадки (МСП) в сантиметровом диапазоне волн является системой точного управления, которая обеспечивает информацию о местоположении летательного аппарата (ЛА) и вспомогательные данные, передаваемые на борт воздушного судна для обеспечения захода на посадку. Информация о местоположении ЛА обеспечивается в широком секторе зоны действия и определяется путем:

- измерения на борту ЛА азимутального угла, угла места и дальности, которые обеспечиваются с помощью передачи сигналов наземными радиомаяками, размещенными на аэродроме посадки;
- передачи на борт воздушного судна дополнительной информации, определяющей условия захода на посадку, включая параметры ВПП;
- формирования на борту воздушного судна траектории захода на посадку и приземления;
- контроля работоспособности и целостности получаемой информации.

В отличие от известной системы *ILS* микроволновая система посадки позволяет реализовать заход на посадку по гибким траекториям с удаления до 37 км, обеспечивая снижение ЛА по крутым (до 20 град.) траекториям с высоты до 6000 м с последующим переходом на пологие траектории (2,5 – 3,0 град).

1 История создания МСП

В 1981 году ИКАО приняла план перехода с международной системы посадки *ILS* метрового диапазона на принципиально новую радиомаячную систему сантиметрового диапазона волн МСП со сканированием лучей в угломестной и азимутальной плоскостях. Метод сканирующего луча с отсчетом времени от его начального положе-

ния (так называемый принцип *Time Reference Scanning Beam*), реализованный в системе посадки, был тем же, что и в отечественной системе РСБН, используемым для измерения азимута. В этот же период ИКАО были разработаны и опубликованы рекомендованные стандарты на систему. В нашей стране институтом ВНИИРА проводились работы по созданию соответствующего оборудования МСП «Плацдарм» и были проведены ее успешные государственные испытания по категории III ИКАО в 1989 году.

В 1995 году Федеральное Авиационное агентство США предложило ИКАО заменить МСП на уже казавшуюся тогда почти готовой дифференциальную спутниковую систему *LAAS (DGNSS)* на базе ГНСС. ИКАО согласилась с указанным предложением, и на Всемирной конференции в марте 1995 года принятый ранее план перехода с *ILS* на МСП был отменен.

Однако, после более чем тридцатилетней разработки ГНСС, международная авиационная общественность на конференции ИКАО в 2012 г. не смогла принять ее в качестве основного международного средства навигации и посадки и пришла к заключению о проведении исследований по созданию системы, альтернативной системе спутниковой навигации по причине низкой помехоустойчивости и проблемы целостности.

Учитывая, опыт ВНИИРА в части создания МСП 2-х сантиметрового и 6-ти сантиметрового диапазонов, в том числе успешного создания микроволновой посадки для орбитального корабля (ОК) Буран [5], целесообразно провести разработку МСП на базе АО «Обуховский завод», в первую очередь для государственной авиации.

Преимущества МСП, определяющие концепцию ее создания в современных особых условиях [2-4]:

1) Повышение безопасности полетов ЛА за счет повышения точности определения навигационных параметров на основе узконаправленных диаграмм азимутальных и угломестных антенн сантиметрового диапазона волн с электронным сканированием.

2) Высокая пропускная способность (темп выдачи информации до 39 Гц) при значительном уменьшении динамической ошибки определения навигационных параметров для высокоскоростных ЛА (ОК типа Буран, маневренных ЛА государственной авиации, перспективные ЛА гражданской авиации – аналоги Ту-144).

3) Экономия топлива за счет оптимизации траектории захода на посадку.

4) Снижение влияния шума двигателей на жилые массивы, прилегающие к аэродрому, за счет использования «крутых» глиссад.

5) Обеспечение регулярности полетов и снижение их стоимости в сложных метеоусловиях, в том числе в условиях арктического севера.

6) Обеспечение посадки самолетов различных типов на необорудованные аэродромы, включая посадки самолетов-заправщиков и БПЛА [2].

Современный подход на основе когнитивности на базе отечественных вычислительных платформ позволяет реализовать бортовое и наземное оборудование МСП на следующих принципах [4]:

- когнитивности, который определяет архитектуру, аппаратное и программное исполнение комплексов на базе накопленных теоретических знаний, опыта и учета влияния внешней среды [2-4, 6];

- иерархической автономности, предусматривающий многоуровневую структуру

комплекса [3];

- магистрально-модульности, обеспечивающий построение комплекса с применением базового набора аппаратных и программных модулей [3].

- открытости архитектуры, которая определяет возможность последующей модернизации комплекса, наращивая или заменяя аппаратные и программные модули.

Вариант реализации когнитивной обработки радионавигационных сигналов представлен по каналу передачи данных (рисунок 1). Отметим наличие в составе структуры предпроцессора когнитивного модуля для связи с внешней средой.

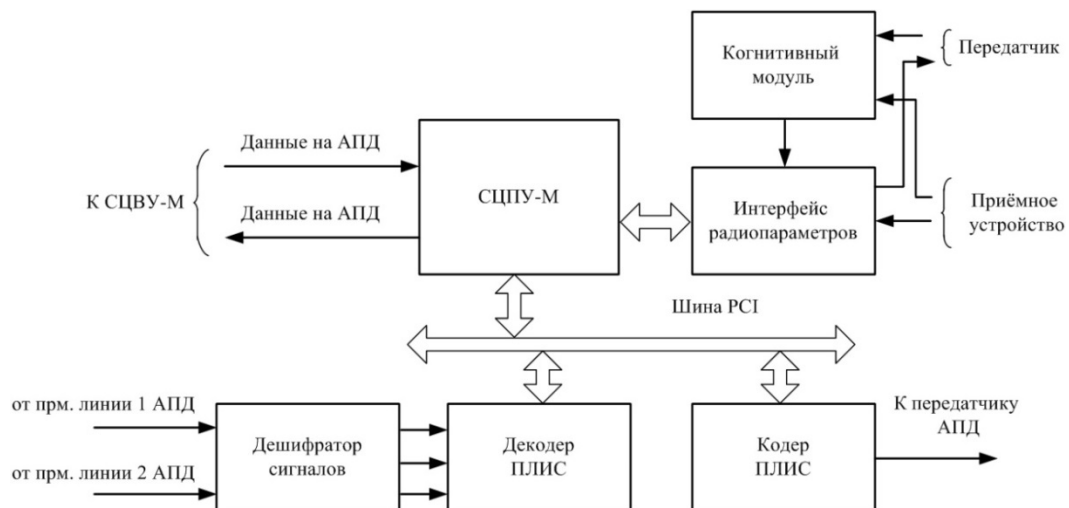


Рисунок 1 – Когнитивный предпроцессор передачи данных

Система первичной и вторичной обработки СЦВУ-М [3-5] может быть реализована на отечественном микропроцессорном комплекте «Мультикор», который получил значительное развитие для бортовой аппаратуры, в том числе и в космической сфере. Особенностью комплекта является реализация в одном чипе процессора первичной обработки сигналов и вычислительного процессора для вторичной обработки сигналов и информации.

Для государственной авиации необходима мобильная МСП II категории метеоминимума, аналог которой разработан в США фирмой *Textron Systems*, рисунок 2.

В перспективных системах посадки для самолетов гражданской авиации необходимы стационарные МСП III категории метеоминимума. Поэтому в мобильных и стационарных МСП целесообразна унификация элементов, включая передающие твердотельные СВЧ модули, устройства когнитивной обработки и программное обеспечение. При анализе требований к характеристикам оборудования мобильной и стационарной комплектаций МСП представляется, что основные отличия будут в структуре и реализации угломестных и азимутальных антенно-фидерных систем на основе АФАР. Тактико-технические характеристики к мобильной МСП определяются требованиями обеспечения II категории метеоминимума для ЛА государственной авиации [7].



Рисунок 2 – Мобильная МСП AN/TRN-45 фирмы *Textron Systems* США, включающая угломестный, азимутальный и дальномерный каналы

Т а б л и ц а 1 – Требования к мобильной МСП – альтернативе GNSS

Наименование ТТХ	СПМ-М
1 Частотный диапазон	5030-5091 МГц
2 Зона действия: - по азимуту - по углу места - по дальности	$\pm 40^{\circ}$ от 0,9 до 15 ⁰ не менее 37 км
3 Ширина луча по азимуту	не более 2,8 ⁰
4 Ширина луча по углу места	не более 2,2 ⁰
5 Погрешности наведения (системные, с P=95%) - погрешность следования по траектории (ПСТ) - шумы следования по траектории (ШСТ) - шумы системы управления (ШСУ)	По азимуту: $\pm 8,4$ м $\pm 3,2$ м $\pm 3,2$ м
6 Погрешности наведения (системные, с P=95%) - погрешность следования по траектории - шумы следования по траектории - шумы системы управления	По углу места: $\pm 0,173^{\circ}$, $\pm 0,053^{\circ}$, $\pm 0,06^{\circ}$;
7 Время обнаружения аварийного состояния - по азимуту - по углу места	не более 1 с не более 1 с
8 Классы обслуживаемых ВПП	I, II, III (длиной до 3500 м)
9 Расчет для свертывания/развертывания	3 чел.
10 Время свертывания/развертывания оборудования	2-4 час;

В МСП точность измерения координат ЛА связана как с погрешностями определения местоположения (азимута, угла места и дальности), так и с неправильной дешифровкой содержащихся в преамбуле кодовых сообщений. Особенно существенно на точность захода на посадку может повлиять неправильная дешифровка минимального угла глиссады, установки нуля азимута и коэффициента чувствительности к смещению сигнала, который вычисляется в зависимости от расстояния между азимутальным маяком и торцом ВПП. Неправильная дешифровка этой информации может привести к ошибкам, превышающим 5 СКО, то есть к выходу траектории за внешние границы «туннеля» посадки.

В наземном оборудовании основная часть погрешности приходится на погрешность установки статической диаграммы направленности фазированной антенной решетки (ФАР), дискретности фазовращателя и реализованного алгоритма фазирования.

На борту угловые координаты определяются по огибающей динамической диаграммы направленности, которая для каждого углового положения ЛА складывается из множества статических диаграмм. При этом источниками ошибок измерений являются шумы приемника, дискретность измерений и перемещения диаграммы направленности антенны, ошибки фиксации временного положения импульсов сканирования и искажения их фронтов, нестабильность частоты опорного генератора, а также переотражения сигналов от местных предметов.

Искажение кодовых комбинаций преамбулы может привести к невозможности использования информации МСП.

Для бортовой аппаратуры наиболее значительными факторами, определяющими точность, являются:

- уровень ВЧ-сигнала (шумовая составляющая);
- скорость изменения углового положения ВС;
- форма огибающей ВЧ-сигнала на выходе.

2 Расчет ошибок

2.1 Оценка шумовой составляющей ошибки (ШСУ) [7]

Аналитическая оценка позволяет определять шумовую составляющую флюктуационной ошибки, которая является основной ее составляющей, так как ошибки, связанные с распространением радиоволн и многолучевым распространением при небольших дальностях не велики.

Для аналитической оценки СКО шумовой составляющей ошибки измерения применима формула [6]

$$\sigma = \frac{\Delta\theta^0}{2 \cdot \sqrt{h \cdot g}} = \frac{\Delta\theta_{0,7}^0}{2 \cdot \sqrt{h_{нч} \cdot \frac{B_{нч}}{2B_{видео}} \cdot \frac{F}{\Delta F}}}, \quad (1)$$

где h – отношение сигнал/шум на фильтре огибающей;

g – отношение выборочной частоты функции к ширине полосы шума выходного фильтра приемника, которая в $\pi/2$ раз превышает ширину полосы 3 дБ;

$\Delta\theta^0$ – ширина луча антенны в градусах;

$B_{нч}$ – полоса пропускания усилителя ПЧ (26 кГц);

$B_{видео}$ – полоса пропускания видеоусилителя (20 кГц);

F – частота обновления данных (13,5 Гц для азимута);

ΔF – полоса среза выходного фильтра приемника (1,6 Гц).

Шаговая развертка приводит к дискретности отсчета и искажению формы сигнала. При ширине луча 1° , скорости развертки 0,02 град/мкс и ширине полосы пропускания 20 кГц погрешность из-за искажения формы сигнала мала.

Погрешность за счет дискретности отсчета зависит от ширины шага развертки – $\Delta\theta$ и ширины луча при пороговом значении – $\Delta\alpha$. Среднеквадратическое отклонение (СКО) погрешности равно

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Delta\theta^2}{12} - \frac{c\Delta\theta}{2} + c^2}, \quad (2)$$

где $c = \min\{a, b\}$,

$$a = \frac{\Delta\alpha}{2} - \Delta\theta \cdot \left[\frac{\Delta\alpha}{2\Delta\theta} \right]^4,$$

$$b = \Delta\alpha - a.$$

2.2 Оценка ШСТ при наличии переотражений от местных предметов [7]

Ошибка определения линии курса связана с угловым отклонением максимума диаграммы направленности (φ) от линии, совпадающей с осью ВПП, и может быть определена по формуле

$$\varepsilon = \kappa/2 \cdot \left| \frac{f(\varphi + \varphi t)}{f(\varphi)} \right|, \quad (3)$$

где κ – модуль отношения поля, отраженного от препятствия, к основному полю в месте приема;

$f(\varphi)$ – диаграмма направленности антенны;

φt – угловое положение местного предмета.

Ошибка указания линии курса тем меньше, чем больше крутизна диаграммы направленности в месте приема сигнала.

При разработке радиомаяков «ПРМГ-ОМД» был создан комплексный стенд испытаний (КСИ) на базе шасси КАМАЗ и бортового навигационно-посадочного комплекса ОВК-РСБН-2000М с каналом МСП. Максимальная высота подъема телескопической мачты определяется высотой опорной точки и равна 15 м [6]. На рисунках 3-6 представлены составные части КСИ.

Комплексный стенд испытаний является перспективным инструментом для оценки параметров работы наземного и бортового оборудования навигации и посадки. Применение КСИ при проведении испытаний МСП, так и других перспективных радионавигационных систем, включая системы радиотехнического обеспечения полетов гражданской авиации, повысит эффективность и снизит затраты на проведения наземных испытаний, в том числе при поиске, обнаружении и устранении неисправностей на этапе наземного тестирования.



Рисунок 3 – Внешний вид аппаратуры навигации и посадки А-331-06М



Рисунок 4 – Внешний вид КПА-РСБН с каналом проверки МСП

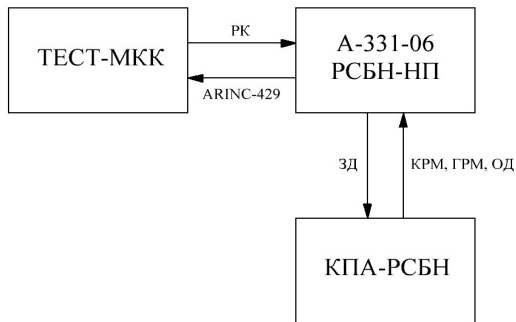


Рисунок 5 – Структура КСИ систем навигации и посадки РСБН/ПРМГ-ОМД/МСП



Рисунок 6 – КСИ на шасси «КАМАЗ»

Заключение

1. Создание мобильной микроволновой системы посадки является актуальной научно-технической задачей в целях повышения эффективности применения государственной авиации, в условиях возможных сбоев в работе спутниковых систем навигации GNS/ГЛОНАСС, том числе во время локальных военных действий и дальнейшего развития ЛА, включая самолеты специального назначения, типа БПЛА и ОК Буран [5].

2. Комплексный стенд испытаний является современной реализацией передвижной автолаборатории (ПАЛ) для проверки выходных характеристик наземных угломерных и дальномерных радиомаяков на малых высотах [7]. КСИ – перспективный инструмент отладки МСП, включая наземное и бортовое оборудование.

3. КСИ может быть рекомендован для проведения экспресс-контроля радиотехнического оборудования навигации и посадки на аэродромах государственной и гражданской авиации.

Литература

1 Ершов Г.А. Радиомаячная система инструментального захода воздушных судов на посадку категории II для работы в дециметровом отечественном и международном диапазонах волн ПРМГ-ОМД / Г.А.Ершов, В.М.Король, Ю.Т.Криворучко, М.Д.Максименко, В.Н.Переломов, Е.А.Синицын, Ю.Г.Шатраков // *Новости навигации*. – 2017. – №1. – С.16-19.

2 Криворучко Ю.Т. Совершенствование систем и средств посадки высокоманевренных летательных аппаратов классов 4++ и 5 / Ю.Т.Криворучко, Ю.Н.Музелин, Б.В.Пономаренко // *Новости навигации*. – 2018. – №3. – С.17-26.

3 Пахолков Г.А. Обработка сигналов в радиотехнических системах ближней навигации / Г.А.Пахолков, Г.Е.Збрицкая, Ю.Т.Криворучко, Б.В.Пономаренко, Ю.Г.Шатраков. – М.: Радио и связь, 1992. – 256 с.

4 Mitola J., III «Software Radio Architecture: A Mathematical Perspective» // *IEEE JSAC*. – Vol.17. – №4. – pp. 514-538.

5 Максименко М.Д. Перспективные комплексы навигации, посадки и контроля

безопасности полетов орбитальных космических кораблей многоразового использования / М.Д.Максименко, Ю.Т.Криворучко, В.М.Король, Е.А.Синицын, Ю.Г.Шатраков // Военмех. Вестник Балтийского государственного технического университета. – 2019. – № 1-2. – С.61-65.

6 Криворучко Ю.Т, Шатраков Ю.Г. Микроволновая система посадки маневренных самолетов государственной авиации на принципах когнитивной обработки // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2023. Т.6, № 3. С.294-307.

7 ГОСТ Р 51747 – 2001. Система инструментального захода летательных аппаратов на посадку сантиметрового диапазона волн радиомаячные.

Криворучко Юрий Тимофеевич – доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: интегрированные комплексы навигации и посадки, системы когнитивной цифровой обработки радионавигационных сигналов, программно-определяемое радио.

Email: krivoruchko.yuri@mail.ru

Плясовских Александр Петрович – доктор технических наук, профессор, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы навигации, связи и наблюдения.

Email: al.plyasovskih@yandex.ru

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

THE MOBILE MICROWAVE LANDING SYSTEM – ALTERNATIVE OF SATELLITE LANDING SYSTEM

The article describes mobile microwave radio beacon instrument approach landing system for the highly-maneuverable aircrafts on principles of the cognitive processing.

Keywords: mobile microwave radio beacon instrument landing system, state aviation, cognitive processing.

Krivoruchko Yuri Timofeevich – Doctor Technical Sciences, Professor of St. Petersburg State University of Civil Aviation, chief designer, JRC «Obukhov Plant», St. Petersburg.

Research interests: integrated systems navigation and landing, cognitive digital processing, software defined radio.

Plyasovskikh Alexandr Petrovich – Doctor Technical Sciences, Professor of St. Petersburg State University of Civil Aviation, chief designer, JRC «Obuhovskiy zavod», St. Petersburg.

Research interests: systems navigation, communication and surveillance.

УДК 669

О ПРИМЕНЕНИИ ТЕРМОПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКИ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ СМАРТ-ИНСТРУМЕНТА В ПРАКТИКЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Ерузин А.А., Климов С.Д., Степанов Б.В., Гейн А.М.

Представлены перспективы развития термической и термоплазменной обработки в условиях функционирования корпоративного центра изготовления смарт-инструмента¹ с термоплазменной обработкой поверхности.

Ключевые слова: инновационные технологии; термическая обработка; термоплазменная обработка; вакуум; инструмент; импортозамещение; плазменные смарт-покрытия.

Введение

Режимы работы современных механизмов выдвигают высокие требования к прочности и стойкости материалов в широком интервале температур. Перспективными направлениями для выполнения этих требований являются:

- объемная и поверхностная термическая и химико-термическая обработка изделий (вакуумный отжиг, упрочнение и отпуск в вакууме и атмосфере защитных газов, насыщение поверхности углеродом, азотом, углеродом и азотом),

- упрочнение их поверхности с использованием высококонцентрированных источников энергии (плазменные и лазерные технологии), что обеспечивает высокое качество на каждом этапе технологического процесса.

Так, например, в наиболее известных мировых центрах по изготовлению высокопроизводительного инструмента не менее 90% изделий финишно обрабатываются в высоковакуумных печах (закалка, отпуск, отжиг, старение, термоциклическая обработка) с последующим нанесением плазменных износостойких покрытий CVD²- или PVD³-методом (смарт-покрытий⁴), что позволяет повысить ресурс работы инструмента и в результате получить значительный экономический эффект, ведь стойкость подобного инструмента возрастает в 3-10 раз. К 2005 году в Германии и США доля производимого инструмента с упрочняющими покрытиями составляла более 95%, в России – менее 20% [2, 6]. Причем ведущие зарубежные фирмы «Cenameta» (США),

¹ Смарт-инструмент – Обрабатывающий инструмент со специальным функциональным («умным») покрытием.

² CVD – Осаждение покрытия из паров химических прекурсоров при температуре 850°-1200°.

³ PVD - Осаждение покрытия из паров металлов и реактивных газов; сочетает несколько свойств за счет сэндвич-структуры (износостойкость, термостойкость, антифрикционность).

⁴ Смарт-покрытие – «Умное» поверхностное функционально ориентированное покрытие на основе N₂; C₂ H₂; O₂ или их смеси.

«Sandvic Coromant» (Швеция) используют при изготовлении инструмента комплексный подход, осуществляя изготовление и заточку инструмента, вакуумную термическую обработку, нанесение плазменного функционального покрытия. Предусмотрена также возможность многократной переточки и перепокрытия инструмента [6].

Целью статьи является опытно-экспериментальное обоснование расширения возможностей технологических процессов и задач подразделений инструментального производства промышленных предприятий ОПК в сторону приобретения компетенций нанесения функциональных смарт-покрытий, а также обоснования локализации процессов термо-вакуумной и термо-плазменной обработки в составе относительно самостоятельного исследовательско-производственного подразделения – центра по изготовлению смарт-инструмента с термоплазменной обработкой (в дальнейшем ЦИСИТПО).

1 О реализации перспективных технологий для изготовления смарт-инструмента

Изучение современной практики в области разработки передовых технологий показывает, что важной составляющей успеха является наличие организационной структуры, обеспечивающей функционирование соответствующих исследовательских коллективов. Плодотворное развитие в рамках рассматриваемой темы, как правило, возможно при создании самостоятельного или же в составе крупного промышленного предприятия так называемого центра по изготовлению смарт-инструмента с термоплазменной обработкой. Далее будем рассматривать второй случай – предприятие ОПК имеет в своем составе цех (участок и др.) инструментального производства и планирует на его базе создать собственный ЦИСИТПО. Основными задачами такого центра будут:

1) Импортозамещение дорогостоящего иностранного инструмента (фрезы корпусные, монолитные, сверла, развертки, метчики, протяжки, измерительный инструмент, штампы гибочные, вырубные, пресс-формы заливные, литьевые, формы для вулканизации и т.д.

2) Внедрение полного цикла производства: изготовление и заточка металло-дерево-керамико-пластик-обрабатывающего инструмента, вакуумная термообработка инструмента и нанесение на его поверхность плазменных функциональных смарт-покрытий, а также возможность переточки и перепокрытия обрабатывающего инструмента, включая заготовки и инструмент, полученный методом 3D-печати (аддитивные технологии).

3) Реализация полного цикла вакуумно-плазменной обработки инструмента и оснастки, включающего в себя:

- вакуумную термообработку инструмента и оснастки;
- нанесение плазменных функциональных смарт-покрытий.

4) Нанесение плазменных функциональных покрытий на технологические приспособления и оснастку как собственного производства, так и для сторонних организаций.

2 О вакуумной термообработке инструмента и оснастки

Ранее в работе [3] при описании организационно-технической деятельности по внедрению технологических процессов термовакуумной обработки были отмечены и практически подтверждены такие преимущества вакуумной обработки как:

- снижение экологически неблагоприятной нагрузки на окружающую среду;
- улучшение условий труда;
- быстрая окупаемость (3-3,5 года), высокая экономическая эффективность за счет отсутствия вредных отходов, снижения брака по термической обработке на 5-7%);
- отсутствие окалины;
- отсутствие обезуглероживания поверхности;
- чистые и сухие детали после закалки;
- контроль температуры на поверхности и в центре деталей;
- реализация ступенчатой закалки в цикле термообработки;
- высокая равномерность нагрева и охлаждения;
- минимальные поводки, уменьшение припусков на термообработку;
- сокращение времени механообработки;
- минимальный разброс твердости по изделию;
- увеличение срока службы инструмента, работоспособности и износостойкости;
- полная автоматизация и документирование процесса;
- повторяемость процесса, минимизация роли человеческого фактора.

Для проведения вакуумной термообработки партия деталей помещается в вакуумную печь, представляющую собой камеру, оснащенную теплоизоляцией и системой нагрева. После загрузки камера вакуумируется, что исключает риск окисления деталей. Затем камера прочищается инертным газом – особо чистым азотом. Детали нагреваются в вакууме или конвективно. При конвективном нагреве инертный газ при давлении до 2 бар подается в камеру после вакуумирования. Путём перемешивания газа во время нагрева достигается высокая равномерность температуры деталей в садке, что снижает возможность появления короблений. После соответствующей выдержки при заданной температуре и закалке, детали охлаждаются инертным газом. Большинство деталей из инструментальных сталей для пресс-форм, штампов холодного и горячего деформирования, а также быстрорежущих сталей могут закаливаться в инертном газе (азот, аргон, гелий) при давлении до 20 бар.

В процессе вакуумной термообработки варьируется температура (например, ступенчатый нагрев/охлаждение), величина остаточного давления, напуск рабочих газов и время выдержки каждой из стадий. Процессы термической обработки ЦИСИТПО включают: отжиг, закалку, отпуск, старение, криогенную обработку.

Исходя из многолетнего опыта работы термического производства АО «ЗРТО» по направлению точного машиностроения и анализа конкретных результатов были определены следующие основные типы изделий и элементов конструкций для вакуумной термической обработки:

- ось, втулка, ролик, зубчатое колесо, кулачок, корпус, основание, рычаг, опора, кронштейн, винт, гайка, шайба, заклёпка и т.д.;
- упругие элементы приборов (пружина, фиксатор, мембрана, гнездо, губка контактная и т.п.);
- элементы с особыми свойствами (магнитопровод, пластина трансформаторная,

экран, волновод, корпуса микросхем и т.д.);

- пресс-формы для литья пластмасс;
- выдувные пресс-формы, штампы холодного деформирования, штампы горячего деформирования;
- пресс-формы для литья алюминия под давлением;
- инструменты из быстрорежущей стали (фрезы, сверла, метчики, развертки, протяжки и т.д.).

3 О нанесении смарт-покрытий в ходе вакуумной термообработки

Плазменные функциональные смарт-покрытия – износостойкие, антиадгезионные, термобарьерные, антифрикционные, антикоррозионные одно- и многослойные сплошные, пленочные покрытия, с возможностью совмещения различных функциональных свойств. К ним относятся: нитриды, карбонитриды, оксинитриды, силициды, бориды; однокомпонентные и поликомпонентные, в виде однородного слоя или с чередующимися нанослоями [3-7], а также алмазоподобные покрытия [8, 9]. Плазменные смарт-покрытия наносятся на обрабатывающий инструмент или технологическую оснастку в специальных вакуумно-плазменных установках. Стандартный технологический процесс нанесения покрытия включает в себя [4, 5]:

- размещение инструмента или оснастки в рабочем объеме установки, откачка (вакуумирование) рабочего объема установки до остаточного давления не хуже $5 \cdot 10^{-3}$ Па;

- плазменная очистка и активация поверхности обрабатываемых деталей в плазме (тлеющий разряд, ионная бомбардировка);

- нагрев деталей до температуры, обеспечивающей надежное сцепление (адгезию) осаждаемого покрытия и основы детали ($T=250-450^{\circ}\text{C}$);

- осаждение целевого плазменного смарт-покрытия дуговым или магнетронным способом, мощность разряда $P=2\div 10$ кВт, с потенциалом смещения $U=70\div 1000$ В, или под плавающим потенциалом, в условиях инертной (Ar, He) реактивной (N_2 , O_2 , C_2H_2) или смесевой атмосфере, при различном соотношении рабочих газов), при рабочих давлениях газов: $P=1 \cdot 10^{-2}$ - $5 \cdot 10^{-1}$ Па;

- охлаждение деталей в вакууме, разгерметизация рабочего объема установки, извлечение готовых изделий.

Нами в ходе обеспечения серийного производства предприятия на штатном технологическом оборудовании «VTT-700» (Технологическая конфигурация установки изготовлена по ТЗ к.т.н. Ерузина А.А.) была осуществлена апробация и адаптация общего стандартного технологического процесса под условия инструментального участка – на рисунках 1-4 представлены образцы режущего инструмента и заливных форм с различными смарт-покрытиями. Инструмент для обработки стальных изделий покрыт нитридом титана-циркония TiZrN – аморфно-кристаллическое смарт-покрытие на фрезах, полученное PVD-методом, твердость 26 ГПа, толщина 4 мкм. На рисунках 5 и 6 представлены формы покрытых хром-хромнитридным функциональным покрытием Cr-CrN, градиентным по азоту металло-керамическим износостойким «смарт»-покрытием, полученным PVD-методом, твердость 23 ГПа, толщина 5 мкм.



Рисунок 1 – Фреза прорезная грибковая



Рисунок 2 – Фреза насадная торцовая



Рисунок 3 – Матрица



Рисунок 4 – Плита-съёмник

На рисунке 5 представлены ножницы для арамидных нитей с покрытием карбонитридохромо-титана $TiCrNC$, керамическое износостойкое смарт-покрытие, полученное *PVD*-методом, реализующим при толщине 5 мкм твердость 32 Гпа.



Рисунок 5 – Ножницы для арамидных нитей

Практическая деятельность по освоению нанесения смарт-покрытий позволила:

1) Дополнить стандартный технологический процесс изготовления обрабатывающего инструмента с термической обработкой комплексно-плазменным процессом нанесения смарт-покрытий различного назначения для увеличения твердости поверхности, уменьшения коэффициента трения, повышения температурной стойкости по-

верхности наконечника инструмента, увеличения окислительной и химической стойкости. Появилась возможность регулирования химического состава и толщины переходного диффузионного слоя между основой инструмента и осаждаемым покрытием, минимизирует КТР между материалами, что позволяет значительно увеличить адгезионные свойства осаждаемого материала. Чтобы нивелировать разницу КТР за счет процесса управляемого дефектообразования и управления изменения параметров физических свойств переходного диффузионного слоя. Степень легирования компонентов;

2) Осуществить на серийном инструменте при условии изготовления ввода в эксплуатацию вакуумно-плазменных установок с необходимым набором технологических узлов предлагаемых нашими специалистами в области вакуумно-плазменных покрытий. Для решения задач по внедрению в производство данных технологий, минимизации времени на обучение обслуживающего персонала надо создать особую структуру ЦИСИПТО с необходимым набором административных, технических и финансовых возможностей.

4 Рекомендации по разработке технологических процессов нанесения смарт-покрытий

Практическое освоение технологических процессов позволило разработать ряд практических рекомендаций по нанесению смарт-покрытий различного химического состава при вакуумной термообработке.

1) Нитриды и карбонитриды используются в качестве износостойкого покрытия для режущего инструмента, имеют твердость 23-38 ГПа, коэффициент трения по стали – 0,2-0,6; термостойкость 450-1100⁰С в зависимости от микроструктуры и химического состава. Используются на инструменте для обработки углеродистой, упрочненной или цементированной стали, а также чугуна, алюминиевых сплавов, и цветных металлов, в таких технологических операциях как сверление, фрезеровка, точение, торцовка, резка, формовка, нарезание резьбы, чеканка [10, 11]. Они имеют общую брутто-формулу M_xN_y , $M_xN_yC_z$, где М – Ti, Zr, Cr, Al, Nb, Ta, V, W, Si; N – азот; С-углерод. Нитриды и карбонитриды следует осаждать на инструмент PVD-методом, при температуре инструмента $T=200-550^0C$, толщиной 1-5 мкм. При этом они осаждаются:

- в виде однокомпонентных (TiN, CrN, ZrN, TiC, CrC, ZrC и т. д.) или поликомпонентных (TiAlN, AlTiN, CrAlN, CrTiAlN, TiSiN, TiAlCN, CrAlCN, и т. д.) пленок;
- в виде однородного слоя или с чередующимися нано-слоями;
- с кристаллической или аморфно-кристаллической структурой.

2) Оксинитриды (CrONAl, AlTiNO, TiCrON, TiNAIO) имеют общую брутто-формулу $M_xO_yN_z$, где М – Ti, Zr, Cr, Al, Nb, Ta, V, W, Si, и используются в качестве износостойких, термобарьерных покрытий для обработки закаленной и упрочненной стали в ходе сверления, фрезеровки, точения, резки с увеличенной подачей [10, 11]. Имеют твердость 30-37 ГПа, коэффициент трения по стали - 0,45-0,5; термостойкость – 1000-1100⁰С. Оксинитриды следует осаждать на инструмент PVD-методом при температуре инструмента $T=200-550^0C$, толщиной 1-5 мкм.

3) Алмазоподобные пленки (имеют обозначение DLC – Diamond-Like Carbon и W-DLC – Diamond-Like Carbon – легированные вольфрамом) следует осаждать на инструмент PVD-методом при температуре инструмента $T=200-550^0C$, толщиной 1-2

мкм. Используются в качестве износостойких, антиадгезионных покрытий; имеют твердость 25-50 ГПа, термостойкость до 600⁰С; имеют низкий коэффициент трения при обработке вязких материалов (нержавеющие стали, медь и медные сплавы, алюминий и его сплавы 0,07-0,10). Может применяться в любых технологических операциях при обработке этих металлов [10, 11].

Заключение

В статье продемонстрирована возможность изготовления на промышленном серийном предприятии инновационного обрабатывающего инструмента собственными силами. Предложено для реализации полного цикла изготовления инструмента, включающего изготовление тела инструмента, его заточки, вакуумной термической обработки, нанесения плазменного функционального покрытия, переточки и повторного перепокрывания создать специальное подразделение – центр по изготовлению смарт-инструмента с термоплазменной обработкой – ЦИСИПТО – на основе существующих подразделений инструментального производства. Это позволит удачно совместить их функции по рутинному инструментальному обеспечению предприятия с решением исследовательских и поисковых задач по разработке и внедрению инновационных технологических процессов.

Литература

- 1 Материалы работы научно-практического семинара «Термообработка металлов и сплавов. Новые решения и возможности технологии и оборудования. Опыт организации и внедрения технологий в производственные процессы предприятия» 26 – 29 мая 2015 г. – СПб: АНО «НТФ «Технокон» им.В.М.Критского».
- 2 Воробьева Г.А. и др. Инструментальные материалы: учебное пособие. – СПб.: Политехника, 2005. – 268 с.
- 3 Степанов Б.В., Гейн А.М., Корольков С.Б. «Состояние и перспективы применения вакуумной термообработки в практике предприятий ОПК» // «Радионавигация и время: Труды СЗРЦ концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2021. – №8(16). – С.94-104.
- 4 Ильин А.А., Строганов Г.Б., Скворцова С.В. Покрытия различного назначения для металлических материалов: учебное пособие. – М.: Альфа-М: Инфра-М, 2013. – 144 с.
- 5 Григорьев С.Н. Методы повышения стойкости режущего инструмента: учебник для студентов вузов. – М.: Машиностроение, 2011. – 368 с.
- 6 Bobzin K. High-performance coatings for cutting tools // CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology. – 2017 – Vol. 18 – P. 1–9. – doi: 10.1016/j.cirpj.2016.11.004.
- 7 Caliskan H., Panjan P., Curbanoglu C. Hard coatings on cutting tools and surface finish // Reference Module in Materials Science and Materials Engineering. Comprehensive Materials Finishing. – 2017 – Vol. 3 –P. 230–242. – doi: 10.1016/B978-0-12-803581-8.09178-5.
- 8 Evolution of conventional hard coatings for its use on cutting tools / R. Haubner, M. Lessiak, R. Pi-tonak, A. Köpf, R. Weissenbacher // International
- 9 Feldman, A., eds., “Applications of Diamond Films and Related Materials”, Elsevier Science, New York.

10 Erdemir, A., and Donnet, C., 2006, "Tribology of Diamond-Like Carbon Films: Recent Progress and Future Prospects," J. Phys. D., 39, R311.

11 Donnet, C., and Erdemir, A., 2008, "Tribology of Diamond-Like Carbon Films" Springer, Heidelberg.

Ерузин Александр Анатольевич – кандидат технических наук, главный специалист, АО «Радиотехкомплект», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: функциональные покрытия в плазме, новые инновационные технологии плазменной обработки металлов и сплавов в целях модификации свойств поверхности, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: chemical-man@yandex.ru.

Климов Сергей Дмитриевич – ведущий специалист, АО «Радиотехкомплект», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: функциональные покрытия в плазме, новые инновационные технологии плазменной обработки металлов и сплавов в целях модификации свойств поверхности, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: sdk.klimov@mail.ru

Степанов Борис Владимирович – главный специалист, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инновационные технологии и оборудование для термической обработки металлов и сплавов, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: b.stepanov@zrto.spb.ru

Гейн Александр Маркович – ведущий инженер-технолог, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: новые инновационные технологии термической обработки металлов и сплавов в вакууме, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: geyn@zrto.spb.ru

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

PROSPECTS FOR THE MANUFACTURE OF "SMART"-TOOLS WITH THERMO-PLASMA TREATMENT IN THE PRACTICE OF DEFENSE INDUSTRY ENTERPRISES IN THE DIRECTION OF IMPORT SUBSTITUTION OF FOREIGN ANALOGUES.

The prospects for the development of thermal and thermo-plasma processing in the conditions of the functioning of the corporate center for the manufacture of "Smart" tools with thermo-plasma surface treatment are presented.

Keywords: innovative technologies; heat treatment; thermo-plasma treatment; vacuum; tool;

import substitution; plasma "smart" coatings.

Yeruzin Alexander Anatolyevich – Chief Specialist, JSC "Radiotechnikomplekt", St. Petersburg.

Research interests: functional coatings in plasma, new innovative technologies of plasma processing of metals and alloys in order to modify surface properties, digitalization of production, optimization of production processes.

Klimov Sergey Dmitrievich – Leading Specialist, JSC "Radiotechnikomplekt", St. Petersburg.

Research interests: functional coatings in plasma, new innovative technologies of plasma processing of metals and alloys in order to modify surface properties, digitalization of production, optimization of production processes.

Stepanov Boris Vladimirovich – Chief Vacuum Heat Treatment Specialist, Chief Metallurgist Department, JSC "Obukhov Plant", St. Petersburg.

Research interests: innovative technologies and equipment for heat treatment of metals and alloys, digitalization of production, optimization of production processes.

Gain Alexander Markovich – Leading engineer-technologist for vacuum heat treatment of the Chief Metallurgist Department, JSC "Obukhov Plant", St. Petersburg.

Research interests: new innovative technologies of heat treatment of metals and alloys in vacuum, digitalization of production, optimization of production processes.

УДК 669.1(075.8)

ТЕХНОЛОГИИ АЭРОТЕРМОАКУСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ

Еременко А.И., Чиркова А.А., Степанов Б.В., Гейн А.М.,
Ремшев Е.Ю., Силаев М.Ю., Калугина М.С.

Представлены технологии и оборудование аэротермоакустической обработки материалов упругих элементов. Представлены результаты обработки упругих элементов из титановых сплавов и бронзы.

Ключевые слова: инновационные технологии; аэротермоакустическая обработка, упругие элементы, механические и эксплуатационные свойства

БЕЗ ПРУЖИНЫ – НЕТ МАШИНЫ

Упругие элементы применяют в гражданской продукции и системах вооружения в качестве амортизаторов, буферных устройств и аккумуляторов энергии. Комплекс требований, предъявляемых к упругим элементам, определяется условиями их эксплуатации. Отличительной особенностью таких упругих узлов является их высокая энергоемкость: большие усилия при малых габаритах. Однако при эксплуатации в морской воде при циклических нагружениях возможны частые случаи их разрушения вследствие коррозионного растрескивания, поэтому при эксплуатации в особых условиях эксплуатации все чаще применяют титановые сплавы и бронзы различных марок. Основное свойство пружинных сталей и сплавов – высокое сопротивление малым пластическим деформациям в условиях кратковременного (предел упругости) и длительного (релаксационная стойкость) нагружения. Эти свойства зависят от состава и структуры материала, а также от внешних условий (температуры, коррозионной активности окружающей среды и др.). Между сопротивлением малым пластическим деформациям и пределом выносливости, степенью развития таких неупругих эффектов как амплитудо-чувствительное внутреннее трение, упругое последствие и упругий гистерезис существует доказанная взаимосвязь. Таким образом, сопротивление малым пластическим деформациям определяет весь комплекс свойств пружинных сталей и сплавов. Для обеспечения высокого сопротивления малым пластическим деформациям необходимо обеспечить высокую плотность и равномерное распределение дислокаций, высокую степень их закрепления, чтобы затормозить начальную стадию пластической деформации по любому из возможных ее механизмов. Указанное структурное состояние может быть достигнуто разными механизмами упрочнения, основанными на протекании мартенситного превращения, на выделении избыточной высокодисперсной фазы, на внутрифазовых превращениях с образованием ближнего упорядочения, на использовании деформационного наклепа. Удар – сложное физическое явление, сопровождающееся волновыми процессами, совершающее значительную работу. Амплитуды, длительность воздействия волн и энергии определяют эффективность динамического нагружения и процесса изменения свойств обрабатываемого материала. Одним из способов изменения свойств металлов и сплавов путем термодина-

мического нагружения является их аэротермоакустическая обработка (АТАО). Суть обработки состоит в использовании для динамического нагружения акустического поля в процессе охлаждения нагретого до определенной температуры изделия.

1 Анализ направлений реализации перспективных технологий

Условием обеспечения производства современной техникой является обладание новейшими наукоемкими технологиями, в том числе основанными на новых физико- и химико-технических эффектах и их комбинациях. Следовательно, актуальным является умение создавать их, при обязательном обеспечении условий для их внедрения в промышленности своей страны. Заимствование новых научных идей и покупка новейшей техники далеко не всегда является альтернативным решением. Оценка перспективности новых технологических направлений производится с учетом пригодности их использования в различных производственных сферах, а также возможности и способности оказать влияние на прогресс отрасли. Комплекс технологий, основанный на физико-химических методах обработки, к числу которых относится и технология аэротермоакустической обработки (АТАО), отвечает этим требованиям. Технологии АТАО находят или могут находить применение в разных областях: машиностроении (формирование свойств углеродистых, легированных сталей и сплавов, сплавов на основе алюминия, меди и титана, как во всем объеме изделия (заготовки) так и в поверхностном слое); инструментальном производстве (повышение износостойкости и долговечности инструмента из быстрорежущих сталей и твердых сплавов); литейном производстве (повышение механических свойств литейных алюминиевых сплавов и чугунов). Помимо влияния на механические свойства металлов и сплавов, технологии АТАО позволяют сокращать продолжительность отдельных этапов термической обработки (отжига, старения, отпуска) так как ускоряют протекание диффузионных процессов, что позволяет отнести АТАО к числу энергосберегающих технологий. Предварительные исследования показали и возможность применения технологий АТАО для повышения механических свойств различных материалов.

В комплекс аэротермоакустической обработки входит средство подачи изделий, нагнетания рабочей среды (аппаратный комплекс создан при поддержке Фонда содействия инновациям в рамках программы СТАРТ), элементов системы управления, контроля и регулировки. Для возбуждения мощных акустических волн звукового диапазона могут использоваться различные газы, на данном этапе используется воздух. Схема приведена на рисунке 1.

Установка состоит из камеры резонатора 1 с клином 2. Ресивер 3, с поступающим сжатым газом или воздухом через штуцер 4 соединён с камерой резонатора. С помощью манометра возможен контроль давления, в ресивере регулируется давление, которое нагнетается через сопло(5) в основную камеру резонатора в котором находится контейнер(6) с обрабатываемыми деталями или обрабатываемая деталь или заготовка в единственном числе. Основной задачей на данном этапе является разработка прототипа аппаратного комплекса аэротермоакустической обработки, обеспечивающего возможность управления комплексом механических свойств при проведении комбинированной обработки любых изделий, из металлов и сплавов, а также в сочетании с другими упрочняющими технологиями для увеличения эффективности повышения конкретных показателей механических свойств.

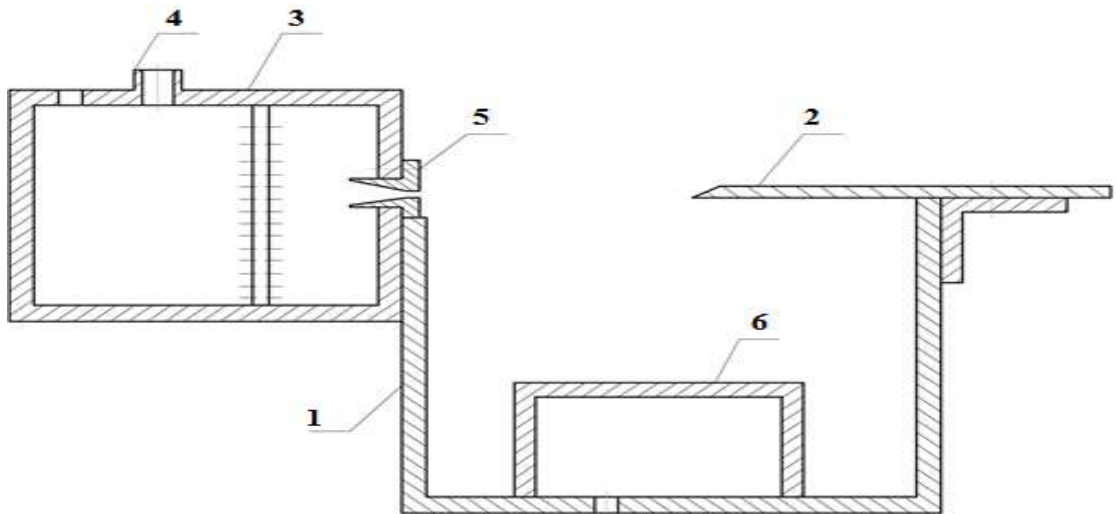


Рисунок 1 – Схема газоструйного генератора звука:

1 – камера; 2 – клин; 3 – ресивер; 4 – штуцер; 5 – сопло; 6 – контейнер

Задача решается применением контейнера с установленными в нем заготовками (изделиями), выполненного из металлической сетки, который устанавливается в объеме камеры-резонатора в её нижней части в точке максимального обдува рабочей средой, на опорное приспособление в виде стандартного столика, столешница которого снабжена средствами крепления к нему контейнера и закреплена на валу электродвигателя, конструктивно размещённого в каркасе опоры-столике и обеспечивая при включении установки её вращение в рабочей среде в заданном направлении и с изменяемой, регулируемой скоростью, что обеспечивает равномерное воздействие потока воздуха и акустических полей на изделия, помещенные в контейнер. Достижимый результат применения аппаратного комплекса аэротермоакустической обработки заключается в возможности повышения прочности материалов по сравнению с существующими способами обработки материалов, изменении и корректировке показателей пластичности за счет воздействия аэроакустики в камере резонатора. Был разработан прототип комплекса, реализующего процесс АТАО для осуществления обработки заготовок на основе известной принципиальной схемы (рисунок 1). Трёхмерная модель комплекса приведена на рисунке 2. В комплексе представлены все основные элементы принципиальной схемы, такие как ресивер 5, корпус которого состоит из набора плоских пластин, сваренных между собой. В боковых стенках имеются отверстия для подвода воздуха, а также сопловой блок 6. Резонатор соединен с рабочей камерой 4 кубической формы внутри которой находится цилиндрический поворотный стол 2. К одной из боковых стенок рабочей камеры с помощью трех болтов закреплен клин 3 в котором сделаны три продольных паза, обеспечивающих его осевое перемещение, для регулирования потока, поступающего из соплового блока. Стол вращается от двигателя и смонтирован на подшипниковом узле 1 для равномерной обработки заготовок. Модель поворотного стола представлена на рисунке 3.

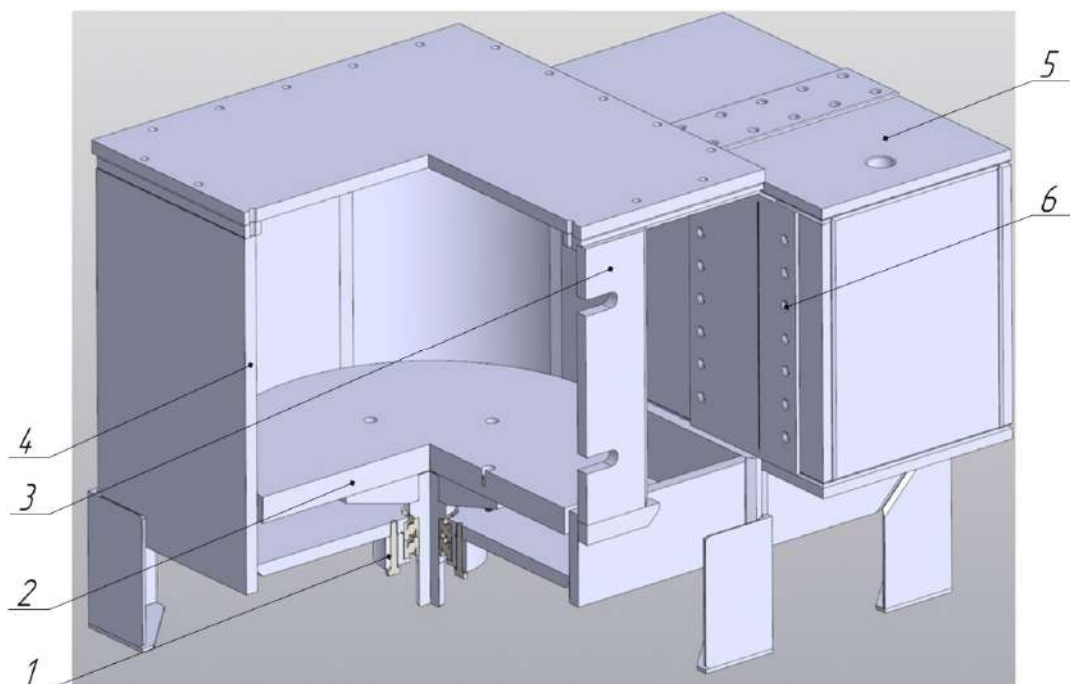


Рисунок 2 – 3D модель комплекса аэротермоакустической обработки:

1 – подшипниковый блок; 2 – поворотный стол; 3 – клин; 4 – камера резонатора;
5 – ресивер; 6 – сопловой блок

Устройство работает следующим образом: контейнер с установленными в нем заготовками (который может быть нагрет в электропечи (необходимость предварительного нагрева до определенной температуры или проведение обработки без нагрева зависит от состава сплава и технологии упрочнения), закрепляют на поверхности столика, находящегося в основном блоке аппаратного комплекса, камере-резонатора, на выходе струи имеется клин, с помощью перемещения которого возможно регулиро-

вать показатели генерируемых характеристик акустического поля. Воздух или другой вид газа, с помощью нагнетания которого через особую конструкцию аппаратного комплекса, через штуцер и сопло в резонатор создает акустико-динамическое воздействие с определенной частотой. Отстройка и отработка режимов осуществляется регулированием клина, перемещением его относительно сопла, а также мощностью нагнетаемого газа. Но по нашему предположению влияние на эксплуатационные и механические характеристики оказывает и температура обрабатываемого материала, его относительное расположение, вращение при определенных амплитудно-частотных и мощностных характеристиках влияет и положение заготовок (или их частей) по отношению к потоку газа. В камере аппаратного комплекса при акустической обработке может происходить охлаждение материала изделия до отрицательных температур. Технологическая последовательность осуществления акустической обработки является предварительный нагрев изделия до заданной температуры, установка в камеру аппаратного комплекса и динамическое воздействие акустическим полем с охлаждением до отрицательных температур, в потоке газа уровень звукового давления может достигать значений 150-170 дБ при подаваемом давлении в камеру газоструйного генератора до 2 атм.

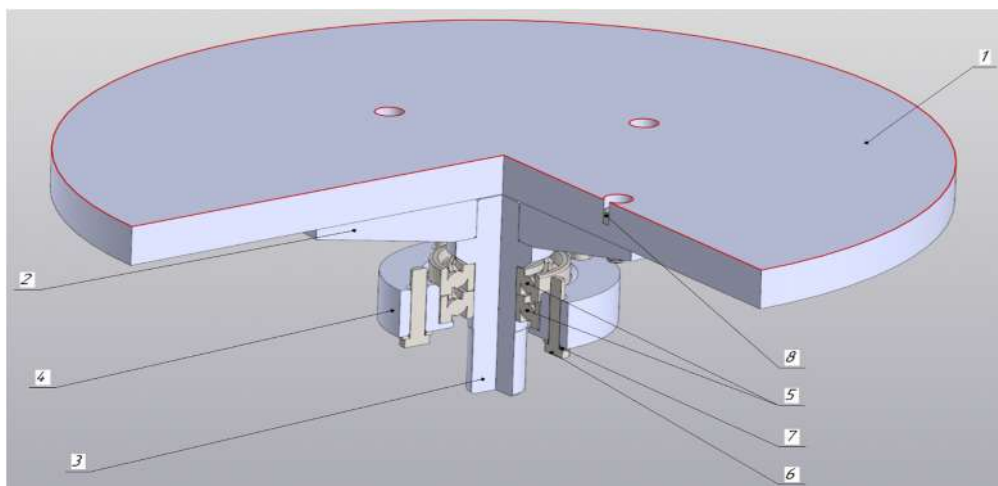


Рисунок 3 – 3D модель вращающегося стола с подшипниковым узлом:
 1 – стол; 2 – опора стола; 3 – ось; 4 – втулка подшипника; 5 – подшипники;
 6 – болт; 7 – шайба; 8 – винт

Разрабатываемые технологические принципы применения аппаратного комплекса аэротермоакустической обработки предполагают использование на различных этапах технологического процесса:

- в процессах стандартного отжига, отпуска и старения для ускорения диффузионных процессов, что может например для титановых сплавов снизить время старения с 30 часов до 2 часов +АТАО 10-15 мин;

- охлаждение в процессе закалки изделий в воздушной среде с одновременным воздействием акустического поля, особенно актуально для тугоплавких металлов, изделий подвергающихся вакуумной обработке;

- изделия малых габаритных размеров, которые невозможно равномерно термо-

обработать ввиду их массогабаритных особенностей, в этом случае аэротермоакустическая обработка может применяться взамен существующей стандартной термической обработкой. Давление рабочего газа (воздух) $P \leq (4\div 5) \cdot 10^5$ Па, время обработки зависит от габаритов изделия и составляет 5-15 минут. Технологической оборудование отличается простотой конструкции и обслуживания, низкой стоимостью. Уникальность свойств предлагаемой обработки позволит выйти на рынок с серьезными компетенциями, по сравнению с существующими аналогами. Основные направления использования. Обработка новым способом обработки инструмента различного назначения из инструментальных сталей и сплавов как на начальном этапе, так и в процессе проведения ремонта повысит жизнестойкость материалов, снизит износ на операциях механической обработки и обработки металлов давлением (стойкость инструмента может возрасти в 2-4 раза). Технология может быть реализована для готового инструмента после стандартной термической обработки и для изготавливаемого инструмента вместо стандартной термической обработки или комбинированным способом.

2 Аэротермоакустическая обработка упругих элементов из титановых сплавов

Исследование проводилось на титановых сплавах ВТ16 и ВТ23 промышленной выплавки следующих химических составов % (масс): ВТ16 (2,5% Al; 4,9% Mo; 5,1% V); ВТ23(5,4% Al; 2,5% Mo; 4,5%V; 1,45% Cr; 0,7% Fe). Сплав ВТ23 используется для изготовления тарельчатых пружин (ТП) и упрочняется по режиму: закалка с температуры 850 °С, выдержка 1 час, охлаждение в воде с последующим старением при температуре 550°С, 10 часов, охлаждение на воздухе – стандартная термическая обработка (СТО). АТАО, проведенная после закалки сплава ВТ16, перед старением позволяет повысить предел текучести и пластичность сплава ВТ16 (таблица 1) при сохранении σ_b . При этом продолжительность старения сокращается с 8 до 3 часов [6].

Тарельчатые пружины из сплава ВТ23, имеющие низкую релаксационную стойкость после СТО, подвергались дополнительной АТАО (нагрев до температуры, не превышающей температуру старения и соответствующей значениям (0,5-0,8) t_{cm} , выдержка в течение 10 мин. и последующее охлаждение в резонаторе газоструйного генератора звука), реализованной по двум режимам, отличающимся температурой предварительного нагрева, затем определялась релаксационная стойкость и исследовалась микроструктура. Для металлографического исследования применялся оптический микроскоп Leica DM2500M со специализированным оригинальным программным обеспечением, возможности которого использовались при математическом оформлении результатов. Механические свойства определялись на машине для статических испытаний модели SHIMADZU AGX-100kN, с программным обеспечением, сигналы акустической эмиссии (АЭ) регистрировались с помощью прибора «Локтон 2004», твердость и релаксационная стойкость определялись по стандартным методикам. Так как влияние фазового состава на свойства сплава ВТ23 существенно, то изучалось влияние СТО и дополнительной АТАО на фазовый состав. Микроструктура сплава ВТ-23 после СТО, СТО и дополнительной АТАО представлена на рисунке 4.

Т а б л и ц а 1 – Режимы термической обработки и механические свойства сплавов

Марка сплава	Т-ра нагрева, время выдержки	Механические свойства после стандартной термической обработки			Дополнительная обработка, АТАО		Механические свойства после обработки		
		σ _B	σ _{0,2}	δ	**Т-ра нагрева, °С	Среда охлаждения	σ _B	σ _{0,2}	δ
		МПа		%			МПа		%
ВТ14	Отжиг 750...800°С	980	870	10	t _{cm}	поток воздуха + акустическое поле	1160	1 040	14
ВТ14	состояние поставки	1030	890	10	α *t _{cm}		1070	960	12
ВТ14	Закалка 850...880°С	1275	1070	18	α t _{cm}		1450	1270	18
ВТ14	Закалка, старение 480...500°С, 12 часов	1280	1180	6...8	α t _{cm}		1650	1540	8,3
ВТ16	Закалка 810-830, вода старение 560°С, 8 часов/ 3 часа	1130 /913	954 /872	4/5	-	-	-	-	-
ВТ16***	Закалка 810-830, АТАО, старение 560°С, 3 часа	-	-	-	α t _{cm}	поток воздуха + акустическое поле	1134	1046	6,5

* α=0,5-0,8; t_{cm} – температура старения;

** температура нагрева (0,5-0,8) t_{cm}; охлаждение осуществляется до температур, находящихся в интервале от -10 до -20°С,

*** Свойства сплава ВТ16 приведены после закалки, АТАО и старения в течение 3 часов.

После СТО (рисунок 2а) в структуре сплава α-фаза имела форму как глобул (α₁) с размером частиц ~5·10⁻⁶м, так и форму вытянутых пластин (α₁₁), разделенных прослойками β₁₁ - фазы, расстояние между глобулами составляет ~5-12·10⁻⁶м. Микроструктура сплава ВТ23 после дополнительной АТАО представлена на рисунках 2б,в; она представляет собой глобулярно-пластинчатую структуру и состоит из дисперсной глобулярной α₁-фазы, с размером частиц 1-3·10⁻⁶м, расстояние между глобулами составляет ~3-5·10⁻⁶м м, а также коротких пластин α+β-вторичных фаз; т.е. структура сплава после АТАО более дисперсная, чем в исходном состоянии. Балл микроструктуры сплава после СТО, СТО и дополнительной АТАО, а также значения релаксационной стойкости ТП, определенной по методике, изложенной в работах [7, 8] приведены в таблице 2.

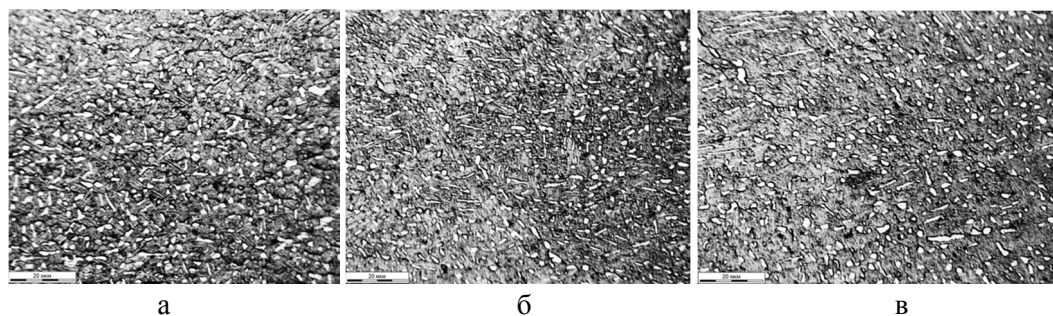


Рисунок 4 – Микроструктура сплава VT23. Закалка с 850°C в воде, старение 10ч. при 550°C- СТО(а), СТО+АТАО1(б), СТО+АТАО2(в)

Т а б л и ц а 2 – Релаксационная стойкость ТП из сплава VT23

Релаксационная стойкость R, % / балл микроструктуры	
После СТО	После обработки АТАО
2,3-2,9/ (6-7 балл)	1,2-2,0/ (5-6 балл) – режим 1
2,3-2,9/ (6-7 балл)	1,0-2,0/ (5-6 балл) – режим 2

Исследование микроструктуры материала ТП позволило установить закономерности изменения структурно-фазовых превращений в зависимости от вида упрочняющей обработки. В материалах ТП из сплава VT23 после СТО по сравнению со СТО+АТАО большие размеры имеют как глобулы α_1 фазы, так и расстояние между глобулами, количество пластин α_1 фазы меньше, имеются области с очень тонкими пластинами ($\alpha_{11}+\beta_{11}$) структуры. Размеры частиц фаз и структурных составляющих после АТАО1 и АТАО2 близки.

Воздействие, оказываемое на предварительно нагретый сплав в процессе АТАО, вызывает микропластическую деформацию [9], что будет существенно ускорять диффузионные процессы, протекающие при охлаждении и способствующие образованию дисперсных $\alpha+\beta$ вторичных фаз. Рост сопротивления малым пластическим деформациям и, следовательно, высокая релаксационная стойкость, связаны с блокирующим действием частиц (областей) $\alpha+\beta$ фаз титанового сплава; при этом степень блокировки дислокаций возрастает по мере возрастания дисперсности зеренной и внутриверенной структуры и создания благоприятного распределения напряжений в материале. Результаты анализа дифрактограмм закаленного и состаренного (СТО), а также подвергнутого после СТО дополнительной АТАО сплава VT23 для ТП1-ТП4, приведенные в таблице 3, позволили оценить факторы влияния обработки на фазовый состав сплава.

Величина упрочнения зависит от типа фаз, их строения, свойств, размера, формы, характера и плотности распределения, степени несоответствия решеток матрицы и выделения. Независимо от режима обработки в структуре сплава всех ТП присутствует значительное количество первичной и вторичной α -фазы. При образовании α' -мартенсита эффект упрочнения может быть значительным, что связано с возможным изменением электронной структуры, морфологии и субструктуры мартенситных кристаллов и в меньшей степени определяется искажением гексагональной решетки легирующими элементами, которое не очень существенно из-за малой разницы атомных размеров титана и легирующего элемента [3,10].

Т а б л и ц а 3 – Фазовый состав сплава ВТ23 после стандартной термической обработки и дополнительной АТАО

Вид обработки	Твердость HRC/релаксация % /R*,%	Состав фаз	Тип кристаллической решетки	Параметры решетки фаз, нм	Кол-во фаз, %	Кол - во α / других фаз %
Закалка + старение 550°C, 10ч (СТО)	38 HRC/ R = 2,3	α	ГП	a, b = 0,294-0,297; c=0,467-0,472	78,6	90,3/ 9,7
		Ti _{0,75} V _{0,25}	ГП	a, b = 0,455; c=0,278	11,7	
		CrTi ₄	ГЦК	a, b, c = 0,321	9,7	
	34 HRC/ R=2,6	α	ГП	a, b = 0,295-0,297; c=0,468-0,472	91,8	91,8/ 8,2
		CrTi ₄	ГЦК	a, b, c = 0,321	4,2	
		Fe _{0,2} Ti _{0,8}	ГЦК	a, b, c = 0,318	1,8	
		Ti _{0,92} Cr _{0,08}	ГЦК	a, b, c = 0,98	0,9	
		TiAl ₂	ОР	-	1,3	
СТО+ АТАО-1	39 HRC /R=1,9	α	ГП	a, b = 0,295; c=0,467-0,468	88,4	88,4/ 11,6
		CrTi ₄	ГЦК	a, b, c = 0,321	8,1	
		Al ₁₁ Ti ₅	Тетрагональная	a, b = 0,392, c=1,653	3,5	
СТО+ АТАО-2	44,5 HRC/ R=1,5	α	ГП	a, b = 0,292-0,295; c=0,467	84,5	84,5/ 15,5
		Fe _{0,2} Ti _{0,8}	ГЦК	a,b, c = 0,318	1,4	
		Al ₃ Ti _{0,75} Fe _{0,18} V _{0,06}	ОЦК	a,b, c = 0,3961	7,7	
		(Al _{0,89} Cr _{0,11}) ₃ Ti	ОЦК	a,b, c = 0,3958	1,2	
		Al _{0,67} Cr _{0,8} Ti _{0,25}	ОЦК	a,b, c = 0,3957	5,2	

*R - релаксационная стойкость (относительная релаксация напряжений) сплава ВТ23. Параметры решетки Ti α (a = 0,295 нм; c = 0,472 нм)

Это подтверждается и значениями параметров решетки α -фазы, приведенными в таблице 3, которые незначительно отличаются от аналогичных параметров Ti α .

С учетом возможностей использованного дифрактометра и погрешности метода определения количества фаз, а также в виду того, что количество фаз с решеткой ОЦК и ГЦК, присутствующих в сплаве ВТ23 ограничено, их состав и количественное соотношение рассматриваются как предполагаемые. Как видно из таблицы 3 фазовый состав сплава ВТ23 отличается при одинаковых режимах термической обработки СТО (СТО, образцы из ТП №1 и 2), что сказывается на релаксационной стойкости сплава.

Повышенное количество фаз с решеткой, отличающейся от ГП, а также наличие α -фазы состава $Ti_{0,75}V_{0,25}$, имеющей гексагональную решетку с периодами a , $b = 0,455$ нм; $c=0,278$ нм когерентную по отношению к β - фазе и закономерно ориентированную относительно исходной решетки β -фазы [10], обеспечивает повышенную твердость, прочность и релаксационную стойкость сплава ТП1 по отношению к сплаву ТП2. Упрочнение может быть обусловлено: торможением дислокаций полем упругих напряжений в матрице вокруг когерентных и полуккогерентных выделений.

Низкая релаксационная стойкость после СТО ($R=2,3-2,5\%$) ТП3 и ТП 4 из сплава ВТ23, после АТАО возрастает ($R= 1,5-1,9\%$). Фазовый состав сплавов после СТО и СТО +АТАО1, СТО+АТАО2 различен; по сравнению со СТО. После АТАО образуется большее количество фаз, дисперсных и равномерно распределенных в матрице, что обеспечивает повышение прочности и релаксационной стойкости сплава. При использовании режима АТАО-2 количество фаз с решеткой, отличающейся от ГП увеличивается, что приводит к росту релаксационной стойкости сплава.

Превращение $\alpha+\beta\rightarrow\beta$ при нагреве и мартенситное превращение при охлаждении не только изменяют фазовый состав сплавов, но и существенно влияют на субструктуру отдельных фазовых составляющих. В сплаве ВТ23 пластины остаточной α_1 -фазы приобретают либо сильно развитую дислокационную, либо двойникованную структуру. Образование дефектов в α_1 -фазе является результатом релаксации внутренних напряжений, возникающих в результате $\alpha+\beta\rightarrow\beta$ превращения и последующего охлаждения. Субструктура фазовых составляющих изменяется и при применении дополнительной АТАО. На межфазной α/β границе присутствует прослойка ГЦК фазы, являющейся промежуточным продуктом ОЦК-ГП превращения [10]. В сплаве ВТ23 тарельчатых пружин ГЦК фаза присутствует после всех видов обработки (таблица 3). Наблюдаемое повышение прочности титановых сплавов при проведении АТАО определяется как за счет упрочнения дислокационными границами, так и за счёт увеличения степени дисперсности $\alpha+\beta$ фаз, а также образованием значительного количества дисперсных фаз. На технологию АТАО сплава ВТ23, повышающую релаксационную стойкость сплава после СТО получен патент [11].

3 Аэроакустическая обработка упругих элементов из бериллиевой бронзы

Бериллиевые бронзы (в том числе БрБ2, содержащая $1,8\div 2,1\%$ Ве – ГОСТ 18 175 - 78) обладают высокими механическими, физико-химическими и технологическими свойствами, работают в интервале температур от минус 200 до плюс 250°C. Эти сплавы широко применяются как в России так и за рубежом для изготовления упругих элементов ответственного назначения, токопроводящих упругих деталей электрооборудования в разных отраслях промышленности. Бериллиевые бронзы упрочняются при образовании дисперсных интерметаллидов бериллия, выделяющихся из α - твердого раствора Ве в Cu. Предельная концентрация Ве в сплавах – 2,6% (БрБ2,5), превышение приводит к резкому снижению пластичности. Недостатками бериллия являются очень высокая стоимость, дефицитность и токсичность, вследствие чего предпочтительно минимально достаточное его содержание в сплаве, что и определяет наиболее частое применение бронзы марки БрБ2 [12,13]. В стандартах Германии и Японии присутствуют марки сплавов с концентрацией бериллия близкой к его

содержанию в сплавах БрБ2 и БрБ2,5, в стандартах США отсутствует марка сплава с концентрацией Ве, превышающей 2,1%. Кроме Ве, в качестве основных элементов, в сплавах могут присутствовать Ni (ГОСТ18 175-78) (способствует получению мелкозернистой структуры) или $(Ni+Co+Fe) \geq 0,6\%$ (по стандартам США и ряда других стран), улучшающие механические и технологические свойства. Режимы термической обработки (заковки и старения – СТО) для сплава состава ~БрБ2 практически аналогичны по стандартам перечисленных стран. Механические свойства бронз после СТО приведены в таблице 4: для марки БрБ2 – режим №4 и для сплава ASTM B194 (C17 200) с содержанием Ве до 2,1% (№6). Оба сплава по средним значениям механических свойств имеют практически одинаковый уровень σ_b ; но $\sigma_{0,2}$ на ~110 МПа выше у сплава марки C17 200 при большей пластичности, что, вероятно, связано с введением Co (дорогой компонент) и суммарным влиянием компонентов сплава $(Ni+Co) > 0,2\%$, $(Ni+Co+Fe) = 0,6\%$, так как Co способствует равномерному распаду твердого раствора и препятствует росту дисперсных фаз.

Таблица 4 – Механические свойства бронзы БрБ2 после термической, механической и аэроакустической обработок

№ режима	Диаметр заготовки (мм)	Предварительная обработка	Дополнительная обработка	σ_b	$\sigma_{0,2}$	δ	HV/ HRC
				МПа			
1	15 мм	тянутые после заковки	-	435	190	40	104-210
2			ААО-10мин., старение 320°C; 2,5 часа (B2)	1240	1160	4	320-340
3			Заковка 780°C, с последующим охлаждением ААО, $\epsilon=15\%$ старение 320°C, 2,5 часа (B1)	915-1050 (990)	700-810 (760)	14-16	265-310
4	5-40 мм	¹ состояние поставки (пруток)	¹ заковка 780°C, вода; старение 320°C, 2,5 часа. (СТО1)	1250	1000	3	320
5	5-15 мм	² заковка, деформация, старение	-	1170 не менее	-	2	340
6	-	³ заковка, старение	-	1150-1330 (1240)*	1000-1225 (1113)*	4-10	/36-44

1. Осинцев О.Е. и др. Медь и медные сплавы [9].
2. ГОСТ15835-2013. Прутки из бериллиевой бронзы.
3. ASTM B194, (C17 200). Ве=(1,8-2,0); (Ni+Co)>0,2%, (Ni+Co+Fe)=0,6%; примеси 0,5%;
*средние значения

Повысить механические, физические и функциональные свойства сплава БрБ2 может разработка комбинированных технологий воздействия на структуру сплава.

Проведённые исследования по анализу влияния аэроакустической обработки (ААО-акустическая обработка при 20°C) на свойства бронзы БрНХК 2,5-0,7-0,6 упрочняемой закалкой и старением, показали целесообразность её применения как упрочняющей обработки [14-19], особенно эффективной при включении ААО в схему: пруткомеханическая обработка – ААО-старение. Для БрБ2 техпроцесс по аналогичной схеме, без закалки, из-за невысоких механических свойств не применяется. Включение ААО в схему термомеханической обработки, позволяет использовать энергию внешнего акустического поля для воздействия на механизм и кинетику фазовых превращений с целью получения устойчивых изменений структуры и свойств.

Из результатов испытаний образцов сплава БрБ2 после обработки по режиму №2 (В2) (таблица 4), включающему ААО, без предварительной закалки перед старением, следует, что механические свойства: σ_b , HV соответствует значениям аналогичных свойств, получаемых при проведении обработки по режиму №4 (СТО1), а также соответствуют средним значениям свойств сплава ASTM B194 (C17 200); однако при этом $\sigma_{0,2}$ на ~160 МПа выше чем у сплава БрБ2 после обработки по СТО1 при большей пластичности и на ~50 МПа больше средних значений $\sigma_{0,2}$ сплава марки C17 200.

С увеличением содержания Ве до 2,6% (бронза БрБ2,5) после СТО1 увеличивается как количество дисперсных фаз, так и $\sigma_{0,2}$ до 1100 МПа, $\delta=2\%$ [8], но и при этом результат ниже на 60 МПа полученного при обработке БрБ2 по режиму В2. Средний уровень значений $\sigma_{0,2}$ сплавов по стандартам ASTM B194 (C17 200) и DIN 17666; марка CuBe2 (2.1447) после аналогичной обработки соответствует ~1110 МПа, что также ниже полученного при обработке В2 (таблица 4). Механические свойства сплава БрБ2 после обработки по режиму №3 (В1), имея превышение по прочности на ~100 МПа, по сравнению со свойствами получаемыми по режиму - закалка 780 °С, вода; деформация $\varepsilon = 40\%$ [13], сохраняет пластичность на уровне 15-16%. Обработка по режиму №3 расширяет возможность применения БрБ2 для изделий работающих в условиях, требующих повышенных значений пластичности и вязкости. После обработки по режиму В2 фазовый анализ, проведённый на рентгеновском дифрактометре, установил в сплаве присутствие фаз: σ -твёрдый раствор Ве в меди с ГЦК решеткой; γ фазу с упорядоченной объем-центрированной решеткой. Микроструктуру сплава исследовали в состоянии поставки и после обработок по режимам №2 и №3. В структуре сплава присутствует дисперсная γ фаза, в виде тонких пластин, когерентная с решёткой твёрдого раствора, наличие которой фиксировалось рентгеноструктурным анализом. Значительное количество дисперсных фаз с когерентной связью с решёткой матрицы определяет повышенные значения $\sigma_{0,2}$, σ_b и δ не ниже их уровня в сплаве после СТО1.

Сплав БрБ2 относится к теплостойким материалам, рабочие температуры сплава 250-300°C. Теплостойкость сплава БрБ2 изучали при температуре 500°C после обработки по 2 режимам: СТО1 и комплексной, включающей аэроакустическую обработку (Р.3). Твёрдость определяли в исходном состоянии и после выдержки при температуре 500°C в течение 2-х часов (0,5 часа и дополнительные 1,5 часа), результаты влияния нагрева на твёрдость представлены на рисунке 5.

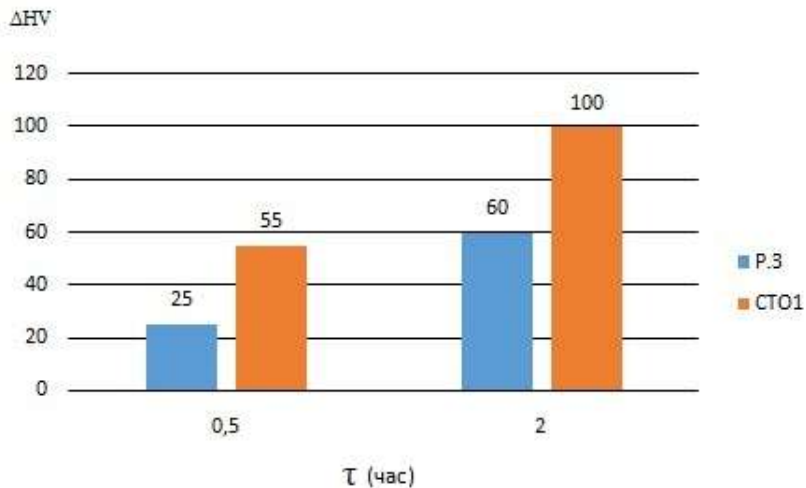


Рисунок 5 – Гистограмма изменения твердости бронзы БрБ2, прошедшей предварительную обработку по режимам: стандартному СТО1 и № 3(Р.3), включающим ААО

Снижение твердости БрБ2 при выдержке 2 часа на $\sim 40\text{HV}$ больше после СТО, чем у сплава после комплексной обработки [18,19]. При длительном старении степень тетрагональности γ фазы уменьшается до 1, с переходом в стабильную $\gamma(\text{CuBe})$ фазу и снижением твердости, аналогичные процессы протекают и при нагреве до температуры 500°C .

Заключение

Ускорение диффузионных процессов, имеющее место при проведении АТАО, позволяет устранять неравномерность распределения легирующих элементов и остаточных напряжений, а также уменьшать величину последних; при этом возрастает степень дисперсности структурных составляющих сплавов, устраняется неоднородность структуры, изменяется фазовый состав сплава и, как следствие, значительно возрастают механические свойства, и уменьшается их разброс. Произошедшие в результате воздействия АТАО структурные и фазовые превращения определяют и повышенную релаксационную стойкость ТП. Выполненные исследования позволяют рекомендовать АТАО для различных титановых сплавов на заключительной стадии упрочняющей обработки для повышения прочности для сплавов типа ВТ14, ВТ16 и релаксационной стойкости сплава ВТ23. АТАО после закалки сплава ВТ16, перед проведением старения, за счет измельчения структурных составляющих и ускорения диффузионных процессов позволяет сократить продолжительность старения на 5 часов, обеспечивая при этом сохранение предела прочности σ_B , повышение условного предела текучести $\sigma_{0,2}$ и относительного удлинения δ .

Проведено экспериментальное комплексное исследование влияния аэроакустической обработки (ААО) на механические свойства, структуру и теплостойкость бериллиевой бронзы БрБ2 и анализ экспериментальных результатов и сопоставление их с литературными данными по технологиям упрочнения бериллиевой бронзы БрБ2 позволяет установить, что эффект влияния ААО на свойства бериллиевой бронзы, по-

лученные в результате старения, наблюдается как при включении ААО в стандартную технологию (закалка, ААО, деформация, старение без изменения стандартных температурных режимов и длительности старения), так и при использовании схемы: состояние поставки, ААО, старение, обеспечивая при этом более высокие значения условного предела текучести, чем после СТО. Наряду с тем, что применение ААО перед старением повышает $\sigma_{0.2}$ сплава БрБ2, при ААО повышается и теплостойкость.

Литература.

1 Тарасов Ю.М., Антипов В.В. Новые материалы ВИАМ – для перспективной авиационной техники производства ОАО «ОАК» // Авиационные материалы и технологии. – 2012. – №2. – С. 5-6.

2 Скотникова М.А. и др. Исследование рабочих лопаток турбин большой мощности с учетом структурно-фазовых превращений в металле штамповок из титанового сплава ВТ6 // Металлообработка. – 2009. – № 6. – С.28-33.

3 Гриднев В.Н., Ивасишин О.М., Ошкадеров С.П. Физические основы скоростного термоупрочнение титановых сплавов. Киев: Наукова думка. 1986. 253 с.

4 Ерофеев В.К., Воробьева Г.А. Способ термической обработки изделия или заготовки из двухфазных титановых сплавов / Патент № 2255137РФ. Оpubл. 27.06.2005. Бюл. №20.

5 Воробьева Г.А., Усков В.Н., Ремшев Е.Ю., Засухин О.Н. Способ термической обработки изделий из титанового сплава ВТ16 / Патент RU № 2536125. Опубликованно 10.12.2012, Бюл. №34.

6 Метляков Д.В. и др. Способ прогнозирования релаксационной стойкости тарельчатых пружин / Патент RU №2469310. Опубликованно 10.12.2012, Бюл. №34.

7 Ремшев Е.Ю. Применение метода акустической эмиссии для контроля качества тарельчатых пружин из сплава ВТ23 // Металлообработка. – 2012. – №4. – С.27-33.

8 Vorobieva G.A., Sizov A.M. Formation of the properties of structural and tool materials using pulsed treatment // Journal of Advanced Materials. 1995.2(1). pp.75-81.

9 Колачев Б.А., Ливанов В.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М. Металлургия, 2003. – 412 с.

10 Усков В.Н. и др. Способ термической обработки изделий из титанового сплава ВТ23 с низкой релаксационной стойкостью после стандартной термической обработки / Патент RU № 2544322. Опубликованно 20.03.2015, Бюл. №8.

11 Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.:МИИС, 2005. – 432 с.

12 Пастухова Ж.П., Рахштад А.Г. Пружинные сплавы меди. – М.: Металлургия, 1979. – 336 с.

13 Ремшев Е.Ю. и др. Способ термометаллодеформационной обработки заготовки из бронзы / Патент №2757281 от 10.12.21.

14 Ремшев Е.Ю., Воробьева Г.А., Беспалов Д.А., Олехвер А.И., Силаев М.Ю. Способ термической обработки заготовки или изделия (пружин) из бронзы БрНХК 2,5-0,7-0,6 / Патент №2691823 от 18.06.2019.

15 Воробьева Г.А., Ремшев Е.Ю., Данилин Г.А., Беспалов Д.А. Влияние режи-

мов термической и аэротермоакустической обработок на структуру бронзы БрНХК // *Металлург.* – 2018. – №3. – С. 89–94.

16 Lenina V.A., Vorobyova G.A., Remshev E.Yu. Analysis of factors determining aspects of deformation and hardening of bronze brnhk2.5–0.7–0.6 // *Metallurgist.* – 2022. – № 9(1), vol. 66. – pp. 5-6.

17 Воробьева Г.А., Усков В.Н. Аэротермоакустическая обработка сталей и сплавов. – СПб: БГТУ, 2012. – 430 с.

18 Воробьева Г.А., Складнова Е.Е., Ремшев Е.Ю. Конструкционные стали и сплавы. – СПб: Политехника, 2023.– 492 с.

19 Воробьева Г.А., Силаев М.Ю., Ремшев Е.Ю., Еськова Е.А. Исследование влияния аэротермоакустической обработки (АТАО) на свойства холоднодеформированной бронзы БРНХК. – СПб: БГТУ, 2020. Сборник «Труды XII общероссийской НПК». – Т.2 – С.15-20.

Еременко Андрей Иванович – главный металлург, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инновационные технологии и оборудование для термической обработки металлов и сплавов, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: ktb-ogmet@goz.ru

Чиркова Анна Андреевна – начальник бюро, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инновационные технологии и оборудование для термической обработки металлов и сплавов, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: ktb-ogmet@goz.ru

Степанов Борис Владимирович – главный специалист по вакуумной термообработке, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инновационные технологии и оборудование для термической обработки металлов и сплавов, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: b.stepanov@zrto.spb.ru

Гейн Александр Маркович – Ведущий инженер-технолог по вакуумной термической обработке, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: новые инновационные технологии термической обработки металлов и сплавов в вакууме, цифровизация производства, оптимизация производственных процессов.

e-mail: geyn@zrto.spb.ru

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

Ремшев Евгений Юрьевич – кандидат технических наук, доцент, руководитель центра, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им.Д.Ф.Устинова», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: обработка металлов давлением, применение метода акустической эмиссии в технологии машиностроения и материаловедение, руководство бакалаврами, магистрами и аспирантами.

e-mail: Remshev_eiu@voenmeh.ru

Воробьева Галина Анатольевна – кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.Устинова», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: материаловедение, композиционные материалы, технологии поверхностной обработки металлов и сплавов в целях модификации свойств, аэротермоакустическая обработка.

e-mail: vorobiyova_galina@mail.ru

Калугина Мария Сергеевна – инженер, ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова», г.Санкт-Петербург

Область научных интересов: материаловедение, обработка металлов давлением, аэротермоакустическая обработка.

e-mail: labmetcontrol@inbox.ru

Почтовый адрес: 190005, Санкт-Петербург, ул.1-я Красноармейская д 1/21

TECHNOLOGIES OF AEROTHERMOACUSTIC PROCESSING OF MATERIALS OF ELASTIC ELEMENTS

Technologies and equipment for aérothermoacoustic processing of elastic element materials are presented. The results of processing elastic elements made of titanium alloys and bronze are presented.

Key words: innovative technologies; aérothermoacoustic treatment, elastic elements, mechanical and operational properties

Eremenko Andrey Ivanovich – Chief metallurgist of JSC “Obukhov Plant”, St. Petersburg.

Area of scientific interests: innovative technologies and equipment for heat treatment of metals and alloys, digitalization of production, optimization of production processes.

Chirkova Anna Andreevna – Head of BTP KTP Department of the Chief Metallurgist, JSC "Obukhov Plant", St. Petersburg.

Area of scientific interests: innovative technologies and equipment for heat treatment of metals and alloys, digitalization of production, optimization of production processes.

Stepanov Boris Vladimirovich – Chief Specialist in vacuum heat treatment of the Department of the Chief Metallurgist, JSC "Obukhov Plant", St. Petersburg.

Research interests: innovative technologies and equipment for heat treatment of metals and alloys, digitalization of production, optimization of production processes.

Gein Alexander Markovich is a leading engineer–technologist for vacuum heat treatment of the Department of the Chief Metallurgist, JSC "Obukhov Plant", St. Petersburg.

Research interests: new innovative technologies of heat treatment of metals and alloys in vacuum, digitalization of production, optimization of production processes.

Remshev Evgeny Yurievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Center for Collective Use "Materials Research Center", Department E4 "High-energy devices of Automatic Systems" of the Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F.Ustinov, St. Petersburg.

Research interests: metal processing by pressure, application of acoustic emission method in engineering technology and materials science, management of bachelors, masters and post-graduates.

Vorobyova Galina Anatolyevna – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F.Ustinov, St. Petersburg.

Research interests: materials science, composite materials, technologies of surface treatment of metals and alloys in order to modify properties, aerothermoacoustic treatment.

Kalugina Maria Sergeevna – Engineer of the Department E4 "High-energy devices of automatic systems" of the Baltic State Technical University "VOENMEKH" named after D.F. Ustinov, St. Petersburg

Research interests: materials science, metal pressure treatment, aerothermoacoustic treatment.

УДК 621.396.946

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЯ УРОВНЯ ВХОДНОГО СИГНАЛА НАВИГАЦИОННОГО ПРИЕМНИКА ПО БЛОКИРОВАНИЮ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВОЗМОЖНОСТИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ С ВЫСОКИМ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМ УРОВНЕМ

Блинов И.Ю., Арсланбеков И.Р.

На испытательном стенде сигналов спутниковых навигационных систем проведена проверка возможности приема навигационной аппаратурой сигналов с высоким энергетическим уровнем. Определена возможность одновременного приема сигналов от спутников ГНСС и от наземных навигационных станций.

Ключевые слова: радионавигация; диапазон; радиоприём; частота; мощность.

Введение

В настоящее время широкое распространение получили навигационные системы, обеспечивающие возможность определения координат, скорости и времени потребителя от наземных станций, работающих независимо от космических навигационных систем. Ввиду ограниченности территории размещения наземных навигационных станций указанные навигационные системы принято называть локальными.

Для расширения зоны действия локальных навигационных систем (ЛНС), особенно в условиях воздействия преднамеренных помех, необходимо значительное увеличение энергетики радиосигнала.

В целях непрерывного навигационного обеспечения в различных условиях становится актуальной задача доработки навигационных приёмников ГНСС в части обеспечения дополнительного приёма сигналов ЛНС.

Необходимо подчеркнуть, что радиоприемные устройства ГНСС обеспечивают прием и обработку сигналов с очень низкой энергетикой. Так, например, мощность сигналов космических аппаратов ГЛОНАСС в точке приёма может составлять минус 131 дБм [1]. Сигналы альтернативных ГНСС, таких как *GPS*, *Galileo* и *BeiDou*, имеют аналогичные энергетические показатели. В связи с чем, чувствительность радиоприёмных устройств может достигать значений минус 140 дБм.

Целью проводимой работы является определение возможности приемника навигационных сигналов ГНСС дополнительного приема и обработки сигналов от наземных навигационных систем.

1 Схема исследований

Работа проведена в два этапа:

1) Натурная проверка, в рамках которой определена максимальная мощность входного сигнала навигационного приемника, при которой осуществлялась выдача навигационного решения.

2) Расчет радиолинии наземных навигационных систем (наземных станций) по данным полученным в ходе натурной проверки.

Для проведения первого этапа был собран экспериментальный стенд, схемы которого приведены на рисунках 1 и 2.

Источником сигнала ЛНС являлся векторный генератор *MXG Vector Generator N5182B* с программным обеспечением, имитирующим сигнал спутника ГЛОНАСС. Несущая частота – 1602 МГц.

В качестве приемника использовался серийно изготавливаемый навигационный модуль.

Проверка проводилась в двух вариантах. В первом варианте сигнал с генератора подавался на вход малошумящего усилителя (МШУ) из состава навигационного приёмника (Рисунок 1). Во втором варианте сигнал подавался непосредственно на вход навигационного модуля (Рисунок 2). В измерениях использовались МШУ с различными коэффициентами усиления.

Работоспособность приемника контролировалась с помощью диагностической программы, установленной на компьютер.

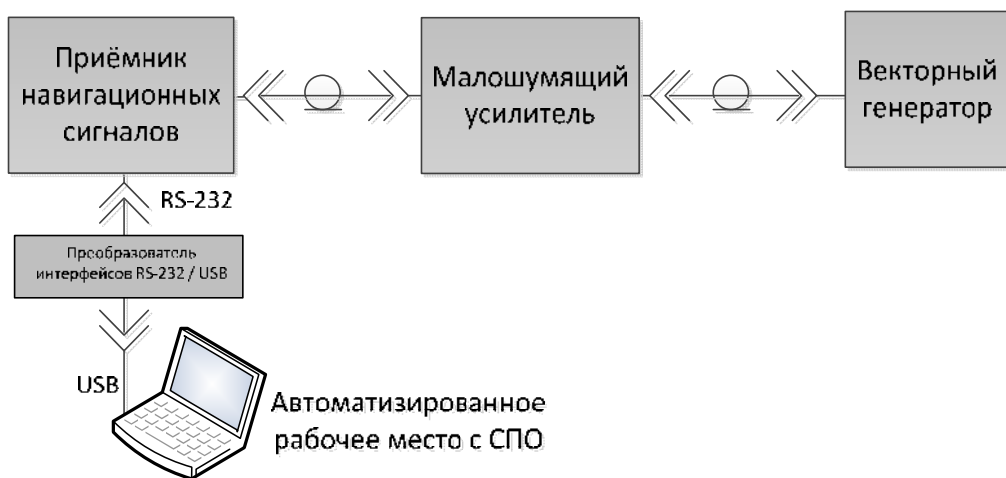


Рисунок 1 – Схема подключения оборудования №1

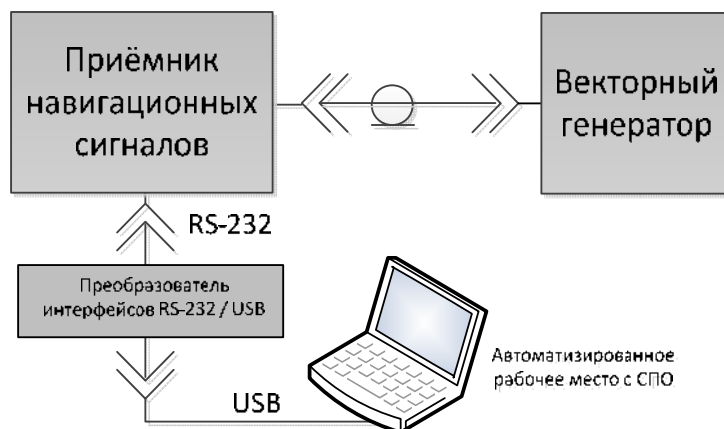


Рисунок 2 – Схема подключения оборудования №2

Порядок проведения проверки был следующим:

На вход приемника подавался сигнал с минимальным уровнем энергетического

потенциала, при котором приемник выдает навигационное решение (35 дБГц). Данный сигнал соответствует мощности минус 136,5 дБм (минус 165,5 дБВт).

Далее, контролируя значение энергетического потенциала, уровень выходной мощности векторного генератора постепенно повышался до срыва навигационного решения.

2 Результаты измерений

Результаты проверки с использованием малошумящего усилителя с коэффициентом усиления 20 дБ и 30 дБ приведены в таблице 1 и 2 соответственно. Результаты проверки без использования малошумящего усилителя приведены в таблице 3.

Таблица 1 – Результаты проверки с использованием малошумящего усилителя 20 дБ

Мощность на входе ПРМ, дБм	-136.5	-131.5	-126.5	-121.5	-116.5	-111.5	-106.5	-101.5
Энергетический потенциал навигационного сигнала, дБГц	35	40	45	50	56	61	66	срыв

Таблица 2 – результаты проверки с использованием малошумящего усилителя 30 дБ

Мощность на входе ПРМ, дБм	-136.5	-131.5	-126.5	-121.5	-116.5	-111.5	-106.5	-102.5
Энергетический потенциал навигационного сигнала, дБГц	35	40	45	50	56	61	66	срыв

Таблица 3 – результаты проверки без использования малошумящего усилителя

Мощность на входе ПРМ, дБм	-	-	-	-	-	-	-	-	-92.5
Энергетический потенциал навигационного сигнала, дБГц	130.5	125.5	120.5	116.5	111.5	106.5	101.5	96.5	срыв

Проведя анализ проведенных проверок можно отметить, что при работе с МШУ с коэффициентом усиления 20 и 30 дБ обеспечивались практически идентичные энергетические потенциалы навигационных сигналов. Данный факт может быть объяснен работой автоматической регулировки усиления (АРУ) МШУ, не допускающей перегрузки на входе навигационного приемника. Перегрузка входных каскадов приемника, и срыв слежения за навигационным сигналом спутника происходили при практически равных уровнях сигнала (минус 101,5 - минус 102,5 дБм). При работе без МШУ срыв слежения за навигационным сигналом произошел при уровне минус 92,5 дБм.

Диапазон входных сигналов навигационного модуля, от минимального уровня, при котором осуществляется прием навигационных сигналов до срыва слежения, составил 34-35 дБ при работе с МШУ и 38 дБ при подаче сигнала с генератора непосредственно на вход навигационного модуля.

График, построенный по данным таблицы 1-3, приведён на рисунке 1.

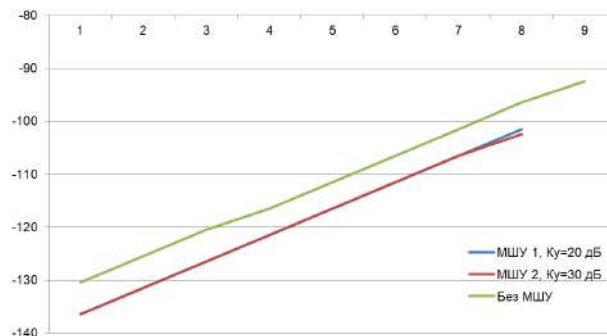


Рисунок 1 – Мощность сигнала на входе приемника

По результатам полученных экспериментальных данных произведем расчет энергетики радиолинии станций локальной навигационной системы с учетом использования приемников ГНСС.

Известно [2], что в свободном пространстве напряженность поля убывает пропорционально расстоянию от источника излучения до точки приёма

Ослабление радиочастотных колебаний в свободном пространстве описывается выражением [3]

$$L_0 = \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2 \frac{1}{W_T^2 G_1 G_2}, \quad (1)$$

где G_1 и G_2 – коэффициенты усиления передающей и приёмной антенны,

r – расстояние от источника излучения,

λ – длина волны излучаемого сигнала,

W_T – множитель ослабления трассы.

С учетом того, что в ходе эксперимента сигнал с генератора подавался непосредственно на вход МШУ (навигационного модуля), коэффициент усиления приёмной антенны в дальнейших расчетах не учитывался. Кроме того, коэффициент усиления передающей антенны далее будет учтен в значении эквивалентной изотропной излучаемой мощности (ЭИИМ) радиопередающего устройства. С учетом изложенных уточнений выражение (1) примет вид

$$L_0 = \left(\frac{4\pi r}{\lambda}\right)^2. \quad (2)$$

В логарифмическом виде выражение (2) имеет вид

$$L_{0 [dB]} = 32,4 + 20 \lg(f) + 20 \lg(R), \quad (3)$$

где f – частота сигнала, МГц;

R – расстояние от источника излучения, км;

Проведём анализ возможности радиоприёмного тракта навигационной аппаратуры одновременного приёма сигналов наземных вспомогательных систем, а также сигналов ГНСС.

Анализ проведем исходя из уравнения радиопередачи

$$P_2 = P_1 G_1 G_2 \eta_{1\phi} \eta_{2\phi} \zeta_{с\pi} \zeta_{\pi} \left(\frac{\lambda}{4\pi r}\right)^2 W_T^2, \quad (4)$$

где P_1 и P_2 – мощность сигнала на выходе передатчика и входе приёмника соответственно;

$\eta_{1\phi}$ и $\eta_{2\phi}$ – КПД передающей и приёмной фидерных линий;

ζ_c – коэффициент согласования по поляризации сигнала;

ζ_n – коэффициент согласования по фидеру;

Примем параметры $\eta_{1\phi}$, $\eta_{2\phi}$, ζ_c , ζ_n равными 1, что в свою очередь будет соответствовать наилучшим условиям приёма сигналов от наземных вспомогательных систем.

С учетом выражения (3) и всех допущений выражение (4) в логарифмической форме примет вид

$$P_{2[\text{дБ}]} = P_{\text{эим}} - L_{0[\text{дБ}]} = P_{\text{эим}} - 32,4 - 20\lg(f) - 20\lg(R), \quad (5)$$

где $P_{\text{эим}}$ – ЭИИМ радиопередающего устройства, дБм

Результаты расчетов для различных значений ЭИИМ при $f=1602$ МГц проведенных по выражению (5) представлены в таблицах 4-7.

Зависимость уровня сигнала на входе приемника от расстояния для различных значений ЭИИМ представлены на рисунках 2-5.

Таблица 4 – расчет мощности сигнала на входе приёмника при $P_{\text{ЭИИМ}}=70$ дБм

R, км	5000	5200	5400	5600	5800	6000	6200	6400
P_2 (дБм)	-100,46	-100,8	-101,13	-101,45	-101,75	-102,05	-102,3	-102,61

Заключение

Для обеспечения приёма и обработки сигналов от наземных вспомогательных станций приёмниками ГНСС на расстоянии от 200 км от земных станций (в условиях прямой видимости) необходимо использование радиопередающих средств с мощностью не более 100 Вт. Однако данный подход не позволит обеспечить работу НАП в сложной помеховой обстановке.

При использовании в наземных станциях мощных радиопередающих устройств необходима доработка (разработка) НАП в части включения отдельного радиочастотного тракта для работы по сигналам наземных станций.

Литература

1 Интерфейсный контрольный документ навигационный радиосигнал в диапазонах L1, L2 (редакция 5.1), 2008 г.

2 Нарышкин Е.М., Серков В.П. Волновая служба и антенные устройства. Часть 1. – Москва: Воениздат, 1982. – 288 с

3 Жуков В.А. Радиочастотная служба и антенные устройства / Жуков В.А., Серков В.П., Филиппов В.В., Чернолес В.П. – Ленинград: Военная академия связи, 1989. – 264 с.

Блинов Игорь Юрьевич – доктор технических наук, заместитель генерального конструктора, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей»», г.Москва.

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

e-mail: i.blinov@almaz-antey.ru).

Арсланбеков Ильшат Рашидович – заместитель директора НТЦ-2, АО «НИИ КП», г.Москва.

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

e-mail: Arslanbekov_IR@orkkniikp.ru.

DETERMINING THE VALUE OF THE INPUT SIGNAL LEVEL OF A NAVIGATION RECEIVER BY BLOCKING TO PROVIDE THE POSSIBILITY OF PROCESSING SIGNALS WITH A HIGH ENERGY LEVEL

The test bench for satellite navigation system signals tested the ability of navigation equipment to receive signals with a high energy level. The possibility of simultaneous reception of signals from GNSS satellites and from ground-based navigation stations has been determined.

Key words: radio navigation; range; radio reception; frequency; power.

Blinov Igor Yurievich – Doctor of Technical Sciences, Deputy General Designer, JSC Concern VKO Almaz-Antey, Moscow.

Area of scientific interests: radio navigation systems and complexes, radio transmitting devices.

Arslanbekov Ilshat Rashidovich– Deputy Director of STC-2, JSC “NII KP”, Moscow.

Area of scientific interests: radio navigation systems and complexes, radio transmitting devices.

УДК 519.178

ПРИЛОЖЕНИЯ АЛГОРИТМА ГРАФИЧЕСКОГО ПОСТРОЕНИЯ ПРЯМЫХ РАЗЛОЖЕНИЙ АБЕЛЕВЫХ ГРУПП БЕЗ КРУЧЕНИЯ К ЗАДАЧЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

Благовещенская Е.А., Микулик И.И., Абызов А.Н.

В работе рассмотрена возможность использования построенных прямых разложений абелевых групп без кручения к задаче оптимального распределения ограниченных ресурсов. Задача оптимального распределения ресурсов является одной из классических задач оптимизации и линейного программирования. В основе исследуемой модели лежит соответствие между неразложимыми прямыми слагаемыми абелевой группы и компонентами связности построенного графа, отвечающего данному прямому разложению. Важной особенностью графа является его ярусно-параллельная форма, которая позволяет применять рассматриваемую модель к задаче оптимального распределения ресурсов.

Ключевые слова: абелевы группы без кручения, прямые разложения, графы ярусно-параллельной формы, распределение ресурсов, задачи оптимизации.

Задача распределения ресурсов является универсальной для многих практико-ориентированных исследований [1]. Предлагается формализация возможных решений этой задачи на языке графов специальной ярусно-параллельной формы, возникших в результате классификации прямых разложений абелевых групп без кручения, принадлежащих классу так называемых почти вполне разложимых групп.

Ресурсная база представляется элементами, которые могут иметь различную природу. В частности, это могут быть как информационные, так и материальные и кадровые ресурсы, которые должны быть рассмотрены в определенном контексте. Кадровые ресурсы – это люди, которые отвечают за осуществление и согласование отдельных цепей в рамках общего целевого процесса в условиях частичной автоматизации. Возможно создание структурных связей между различными видами ресурсов, поскольку только их определенные сочетания позволяют выполнять действия, направленные на достижение запланированного результата. Таким образом, логично предположить, что в каждой цепи действий отсутствуют ресурсы, которые не используются в то время, когда они задействованы в другой цепи [2-4]. Таким образом, принцип последовательной и параллельной работы реализуется в ориентированном графе, представляющем собой не только наглядную визуализацию некоторой производственной ситуации, но и дающем варианты графического решения задачи распределения ресурсов. Под оптимальным решением обычно понимается то решение, при котором достигается (или почти достигается) максимальное или минимальное значение некоторого показателя, характеризующего процесс или результат данного распределения [5-7].

Для примера рассмотрим один класс задач, решаемых предложенным методом, которые формулируются в следующем виде.

Имеем k видов ресурсов A_1, A_2, \dots, A_k , количество которых равняется $n_1,$

n_2, \dots, n_k условных единиц соответственно, причем, различных. Вводим числовые инварианты m_1, m_2, \dots, m_k , которые обозначают число логических связей между ресурсами A_i и A_j следующим образом: если натуральные числа m_i и m_j имеют общий простой делитель p , то A_i и A_j имеют связь типа p (i и j – различны).

Требуется получить набор сочетаний r_1, r_2, \dots, r_s элементов из некоторых подмножества $\{A_1, A_2, \dots, A_k\}$, затратив максимально допустимое количество ресурсов (то есть, ограниченное числами n_1, n_2, \dots, n_k) в минимально возможные сроки.

Предполагается, что в создании отдельно взятого продукта r_i используется одна условная единица количества каждого включенного в него ресурса. При этом любые два используемых вида ресурсов в создании каждого продукта должны быть логически связаны (возможно, не непосредственно, а транзитивно через другие виды участвующих ресурсов). Также допускаем, что каждая операция занимает одну условную единицу времени.

В исследовании прямых разложений абелевых групп без кручения конечного ранга графический подход сводится к введению структуры на множестве отдельных прямых разложений на неразложимые слагаемые и рассмотрению их в системе введенных инвариантов. Наиболее результативно применение этого подхода реализовано для почти вполне разложимых групп с циклическим регуляторным фактором (кратко, для sq -групп) [2]. sq -группой с регулятором $A = A_1 \oplus A_2 \oplus \dots \oplus A_k$ принято называть абелеву группу без кручения X , содержащую вполне разложимую группу A так, что $\frac{X}{A}$ является конечной циклической группой (A_i – однородные компоненты регулятора, который есть прямая сумма групп ранга 1, то есть аддитивных подгрупп группы рациональных чисел Q). Порядок группы $\frac{X}{A}$ равняется наименьшему общему кратному инвариантов m_1, m_2, \dots, m_k . Отметим, что абелевы группы без кручения обладают неизоморфными (различными) прямыми разложениями, и подкласс почти вполне разложимых групп X допускает графическую интерпретацию, дающую информацию о всех возможных прямых разложениях на неразложимые слагаемые $X = X_1 \oplus \dots \oplus X_s$. При этом, каждая подгруппа X_j характеризуется полным набором простых делителей порядка конечной группы $\frac{X_j}{A_j}$, где A_j – регулятор в X_j .

В работе реализована программа, позволяющая находить все прямые разложения абелевой группы без кручения по её главному разложению.

Программа реализована на языке Python с использованием IDE PythonCharm. В терминах теории графов задача имеет следующую формулировку. Дан мультиграф $G(V, E): V = V_1 \times V_2, |V_1| = m, |V_2| = n, E = \{e: e_{1j} = \{(v_{1j}, v_{1j+1})\}, v_{1j}, v_{1j+1} \in V\}$.

Требуется построить все возможные графы $G_p(V_p, E_p): E_p = \{e: e_{ij}^p = \{(v_{ij}, v_{ij+1})\}, v_{ij}, v_{ij+1} \in V \wedge \sum |e_{ij}^p| = |e_{1j}|\}$.

Граф реализован в виде матрицы $m \times n - 1$, каждая строка которой содержит кратность ребер, соединяющих две соседние вершины. Если ребер между вершинами нет, соответствующий элемент матрицы равен 0. Такое представление матрицы, в отличие от хранения матрицы смежности, сохраняет ярусно-параллельную форму графа при любых операциях над ней. Также предложенная матрица менее разрежена, так как

не включает в себя информацию о ребрах, которые не могут быть включены в ярусно-параллельных графах. Это позволяет использовать меньшее количество памяти для хранения графа и меньшее количество вычислительных затрат при операциях на графах.

На рисунке 1 представлен псевдокод реализованной программы.

```
E = list(...)
graph = Graph(m, n, E)
decompositions = all_decompositions()
factors = get_factors(decompositions)
for composition, factor in zip(decompositions, factors):
    get_pretty_graph(composition, factor)
```

Рисунок 1 – Псевдокод программы, реализующей графические представления разложений абелевых групп без кручений

Реализация включает в себя использование трех функций: `all_decompositions()`, `get_factors()`, `get_pretty_graph()`. Функция `all_decompositions()` является основной и реализует алгоритм построения всех разложений в виде набора графов. Функция `get_factors()` преобразует граф в набор слагаемых, соответствующих прямому разложению группы на неразложимые подгруппы. Функция `get_pretty_graph()` преобразует граф и прямое разложение в текстовый вид в формате, удобным для представления пользователю.

На рисунке 2 представлены примеры результата работы реализованной программы.

```
-----
1 + 3 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1
-----
0 0----0====0 0
0====0 0 0 0
0----0 0 0 0
-----
2 + 2 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1
-----
0====0 0====0 0
0 0 0 0 0
0 0----0 0 0
-----
4 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 1 + 2 + 1 + 1 + 1
-----
0====0----0====0 0
0 0 0 0 0
0----0 0 0 0
-----
```

Рисунок 2 – Результат работы программы: примеры графических представлений разложений абелевых групп без кручений

Таким образом, разработана программа для получения всех возможных прямых разложений почти вполне разложимой произвольной абелевой sq -группы на неразло-

жимые подгруппы. Наполнение параметров группы конкретным практическим содержанием дает возможность с помощью этой программы выбрать прямые разложения, соответствующие тем вариантам распределения ресурсов, которые лучше других удовлетворяют оптимизационным требованиям поставленной задачи.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 22-21-00267).

Литература

1 Чернышева Г.Н. Факторы эффективного управления производственными ресурсами предприятия // Организатор производства. – 2014. – №2 (61). – С.25-35.

2 Благовещенская Е.А., Зуев Д.В., Кузнецова И.В., Тихомиров С.А. Приложения алгоритмов прямых разложений абелевых групп без кручения к задачам распараллеливания вычислительных и конструктивных процессов // Международные Колмогоровские чтения-XIV, посвященные 100-летию профессора З.А. Скопеца. – 2017. – С.38-40.

3 Лапыгин Ю.Н. Системное решение проблем. – М.: Эксмо, 2008.

4 Микулик И.И., Благовещенская Е.А. Распараллеливание гибридного алгоритма муравьиной колонии с изменяющимися с помощью генетического алгоритма параметрами // Проблемы информатики. – 2023. – №2(59). – С.86-97.

5 Демиденко О.М., Борчик Е.М., Якимов А.И. Многокритериальная оптимизация распределения ресурсов в процессе производства готовой продукции // Проблемы физики, математики и техники. – 2022. – №3(52). – С.90-96.

6 Кузиева К., Одилова Ш. Линейное программирование и его актуальность для будущих экономистов // Sustainability of education, socio-economic science theory. – 2023. – Т. 1. – №11. – С.60-62.

7 Арутюнов А.В. и др. Задача оптимального распределения ресурсов по множеству независимых операций // Автоматика и телемеханика. – 2002. – №5. – С.108-119.

Благовещенская Екатерина Анатольевна – заведующий кафедрой, Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Область научных интересов: фундаментальная и прикладная алгебра
e-mail: kblag2002@yahoo.com

Микулик Илья Игоревич – ведущий инженер-разработчик, ООО «ИТ1-РТК», Санкт-Петербург.
Область научных интересов: Информационные технологии, прикладная математика
E-mail: mikulik.ilia@gmail.com

Почтовый адрес: 191014, Санкт-Петербург, улица Кирочная, дом 18Б.

Абызов Адель Наилевич – профессор, Казанский федеральный университет, Казань.
Область научных интересов: теория колец и модулей.
E-mail: aabyzov@kpfu.ru

Почтовый адрес: 420021, Казань, ул. Татарстан, дом 56, кв. 38.

APPLICATIONS OF THE ALGORITHM FOR GRAPHICALLY CONSTRUCTING DIRECT DECOMPOSITIONS OF TORSION-FREE ABELIAN GROUPS TO THE PROBLEM OF RESOURCE ALLOCATION

The paper considers the possibility of using constructions of direct decompositions of torsion-free Abelian groups to the problem of optimal allocation of limited resources. The problem of optimal resource allocation is one of the classic optimization and linear programming problems. The model under study is based on the correspondence between the indecomposable direct summands of the Abelian group and the connected components of the constructed graph corresponding to this direct decomposition. An important feature of the graph is its tiered-parallel shape, which allows to apply the model under consideration to the problem of optimal resource allocation.

Keywords: torsion-free Abelian groups, direct decompositions, graphs of tiered parallel shape, resource allocation, optimization problems.

Blagoveshchenskaya Ekaterina Anatolievna – Head of Department, Emperor Alexander I St.Petersburg State Transport University, St. Petersburg.

Research interests: fundamental and applied algebra

Mikulik Ilya Igorevich – leading engineer developer, IT1-RTK, St. Petersburg.

Research interests: Information technology, applied mathematics.

Abyzov Adel Nailevich – Professor, Kazan Federal University, Kazan.

Area of scientific interests: theory of rings and modules.

УДК 005.6

ОБОСНОВАНИЕ НЕОБХОДИМОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЕТАЛЕЙ В ДОКУМЕНТООБОРОТЕ

Кривошеев А.В.

Рассмотрено современное состояние взаимодействия конструкторских и технологических служб. Сделана попытка показать возможности значительного повышения технологичности изделий, необходимого для достижения целей системы менеджмента бережливого производства.

Ключевые слова: бережливое производство, система менеджмента бережливого производства, технологический контроль конструкторской документации, электронная модель детали.

Введение

В последнее время на производствах наблюдается активное внедрение системы менеджмента бережливого производства. Как и следует из названия, эта система уделяет повышенное внимание повышению эффективности производственных процессов. К сожалению, процесс разработки продукции и технологии ее изготовления часто остается без должного внимания со стороны служб, занимающихся бережливым производством, хотя согласно ГОСТ Р 56404-2021 [1], организация при проектировании продукции, услуг и процессов должна применять принципы, методы и инструменты БП для поиска и сокращения потерь. В данной статье сделана попытка показать возможности значительного сокращения потерь, связанных с конструкцией изделия, за счет повышения эффективности взаимодействия конструкторских и технологических служб на ранних этапах проектирования продукции.

1 Влияние эффективности взаимодействия между технологическими и конструкторскими службами на начальном этапе проектирования.

В работе Саймона и Дэнджерфилда [2] приведено следующее: при анализе 2000 чертежей было обнаружено, что только 20% ненужных затрат можно было избежать только за счет изменения технологии производства, 30% требовали внесения некоторых изменений в рабочие чертежи и 50% - требовали изменения проектных схем. Предметом их работы был турбореактивный двигатель самолета. Первая попытка создать департамент стоимостной инженерии закончилась провалом – инженеры-технологи, которые давали свои рекомендации конструкторам, получали чертежи на стадии, когда все ключевые решения уже были приняты (последовательная работа конструкторов и технологов). Отдел был расформирован. При запуске проектирования двигателя RB 401 работа конструкторов и технологов была организована параллельно, т.е. технологи давали свои рекомендации на самых ранних стадиях проектирования. При пересчете на тягу в доллар/фунт стоимость двигателя уменьшилась на 35% по сравнению с ранее разработанным практически той же группой разработчиков аналогом. Далее цена была снижена

еще на 15%. В своей работе Саймон и Дэнджерфилд утверждают, что 90% затрат проекта уже определены по прошествии всего 10% его времени.

Следует отметить, что предметы исследования Саймона и Дэнджерфилда - турбореактивные двигатели, сами по себе являются достаточно наукоемкими изделиями. Кроме того, они являются частью еще более сложного изделия – самолета, следовательно, должны взаимодействовать с большим количеством сложных систем. Объем производства при составлении бизнес плана составлял 250 единиц. Поэтому в данной статье принимается допущение о том, что данные Саймона и Дэнджерфилда могут быть применены в общем случае в условиях наукоемкого мелкосерийного производства. В соответствии с этими данными сокращение большей части ненужных затрат требует изменения конструкции изделия, половина возможностей сокращения ненужных затрат исключается на самых ранних этапах проектирования еще при принятии проектных схем.

2 Технологический контроль и проблема низкой эффективности обмена информацией между конструкторскими и технологическими службами

Для повышения технологичности изделий при разработке конструкторской документации предусмотрен технологический контроль по ГОСТ 14.206-73 [3]. Следует отметить, что этим стандартом контроль технологичности деталей предполагается лишь уже на стадии разработки рабочей конструкторской документации, когда все основные проектные решения уже приняты. В соответствии с принятым ранее допущением, это означает фиксацию половины ненужных затрат (чтобы их убрать потребуется спроектировать изделие заново, вернувшись на этап даже не технического проекта, а на этапы технического предложения и эскизного проекта). Следовательно, чтобы убрать половину ненужных затрат, необходимо производить технологический контроль деталей на самых ранних этапах проектирования. Для этого необходимо значительно повысить эффективность процесса обмена информацией между конструкторскими и технологическими службами, то есть значительно упростить процесс разработки и чтения конструкторской документации на детали.

За несколько лет в технологическом бюро станков с ЧПУ управления по технологической подготовке радиотехнических систем АО «Обуховский Завод» были собраны данные о приходе в бюро и уходе из бюро конструкторской документации. Согласно этим данным (всего 9870 записей на момент написания данной статьи, каждая из которой отражает информацию о приходе в бюро и выходе из него документации) 4,89 процента конструкторской документации содержало ошибки (отсутствие необходимых размеров, замкнутые размерные цепи, противоречие между видами, разрезами и сечениями и т.д.). При этом из вновь разработанной документации, пришедшей в бюро на технологический контроль, ошибки содержались в 35 процентах случаев (131 из 371). Среднее время прохождения через бюро документации, пришедшей на технологический контроль, составляет 8,96 календарных дня (это не показатель трудоемкости, т.к. проведение технологического контроля является не основной деятельностью бюро, а параллельно выполняемой дополнительной задачей). В 30 процентах случаев этот процесс занимает более 7 календарных дней, в 42 процентах случаев не более 2 календарных дней.

Документации без ошибок в среднем проходит технологический контроль в бюро в среднем за 7,7 календарных дня. В случае обнаружения ошибок она возвращается разработчику. Исправленная конструкторская документация приходит в бюро на повторный технологический контроль в среднем через 26,45 календарных дня после возврата разработчику. Процесс исправления в 39 процентах случаев занимает более 7 календарных дней и не более 2 календарных дней в 20,6 процентах случаев. В 22 из 131 случаях возвращенные с ошибками чертежи на повторный технологический контроль в бюро не приходили (на момент написания статьи) и не отображены на гистограмме (рисунок 1). В итоге успешное прохождение технологического контроля вместе с исправлением ошибок в среднем занимает 28,3 календарных дня. Это показывает проблему низкой эффективности обмена информацией об изделии с помощью конструкторской документации в бумажном виде. При таких показателях технологический контроль во многих случаях превращается в проверку чертежа на наличие ошибок, а не процедуру, направленную на повышение технологичности изделия и снижение его себестоимости.

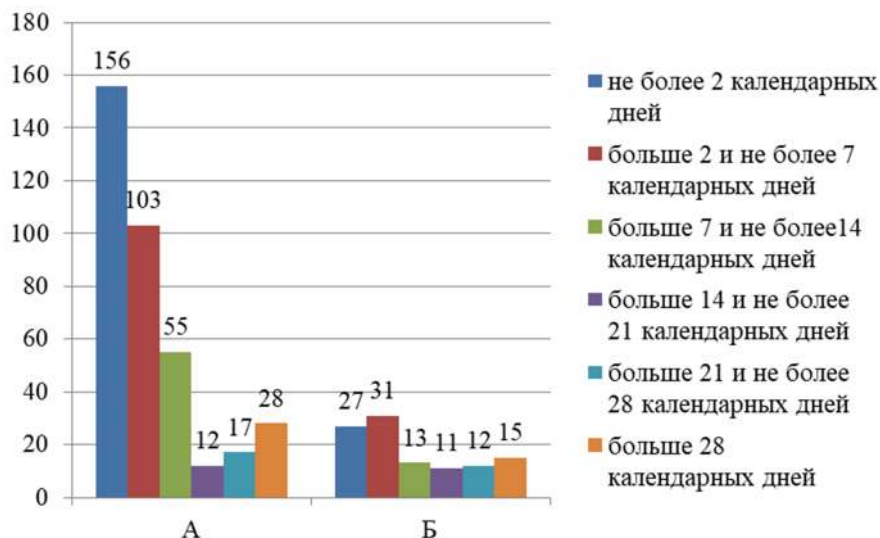


Рисунок 1 – Гистограмма времени между приходом конструкторской документации на технологический контроль и ее возвратом разработчику с подписью или с пометками об ошибках (А) и гистограмма времени между возвратом конструкторской документации с ошибками разработчику и ее повторным приходом на технологический контроль (Б)

3 Пути повышения эффективности обмена информацией между конструкторскими и технологическими службами

ГОСТ 2.102-2013 [4] предусматривает 2 вида конструкторской документации на детали: чертеж и электронную модель детали. Для того чтобы передать необходимые производству данные в виде чертежа, конструктор должен создать двухмерное представление трехмерного объекта. Далее эти данные получают подразделения, задействованные в изготовлении этой детали. Трудоемкость чтения 2-х мерных чертежей меньше чем их разработка, но повторяется несколько раз: при технологическом кон-

троле, при разработке технологии, при изготовлении детали и при ее контроле, поэтому суммарная трудоемкость чтения чертежа может превзойти трудоемкость его разработки. Так же существует риск допущения ошибок при разработке и чтении конструкторской документации в виде чертежа. Для передачи данных в виде электронной модели детали согласно ГОСТ 2.056-2021 [5] конструктору не требуется преобразовывать трехмерный объект в его двухмерное представление, а чтение конструкторской документации в виде электронной модели детали значительно проще, чем чтение двухмерного чертежа. Таким образом, опускается процедуры прямого и обратного преобразования трехмерного объекта в двухмерный.

Следует так же отметить, что разработка чертежа на деталь со сложной геометрией, большим количеством размеров и требований к изготовлению без разработки электронной модели детали теоретически возможна, но практически более трудоемка и имеет большую вероятность допущения ошибок при разработке. Поэтому для разработки чертежа сложной детали конструктору перед этим, как правило, требуется разработать электронную модель детали.

Согласно ГОСТ Р 56020-2020 [6] потери – любое действие на всех уровнях организации, при осуществлении которого потребляются ресурсы, но не создаются ценности. Одним из видов потерь согласно этому стандарту является дополнительная обработка – лишняя обработка/действия из-за несоответствующих инструментов или плохой конструкции продукта (из-за несоответствующего планирования или проектирования услуги). Следовательно, разработка и чтение чертежа по сравнению с документооборотом с помощью электронной модели детали является лишней обработкой технической документации, то есть одним из видов потерь.

Но оценивать эффект работы документооборота с помощью электронной модели детали только экономией времени при разработке и чтении чертежа недостаточно. Как упомянуто ранее, Саймон и Денжерфилд утверждали, что 90% стоимости проекта определяется тогда, когда прошло 10% процентов его времени. Если принимать это утверждение за истину, то из него следует критическая важность эффективного взаимодействия между разработчиком изделия и производством на ранней стадии разработки. Вместо того чтобы разрабатывать чертеж сложной детали с определением сотен размеров и других требований, разнесенных на разные виды, разрезы и сечения в соответствии с требованиями стандартов единой системы конструкторской документации, конструктор может разработать или использовать уже разработанную электронную модель детали для документооборота вместо чертежа. Вместо того чтобы определять геометрию сложной детали из ее двухмерного представления видами, разрезами и сечениями с сотнями нанесенных на них размеров, предельных отклонений и других требований к ее изготовлению, технолог может увидеть ее трехмерное представление в виде электронной модели детали. Сэкономленное время конструктор и технолог могут использовать для взаимодействия с целью повышения технологичности изделия на ранних стадиях проектирования. Именно в этот момент половина всех связанных с конструкцией потерь может быть ликвидирована или зафиксирована принятием проектных схем, определяющих в дальнейшем конструкцию деталей. Следовательно, использование электронной модели детали для документооборота с целью повышения технологичности на ранних этапах проектирования может исключить половину всех потерь, зависящих от конструкции изделия.

Следует отметить, что в том случае, если заказчик требует разработки конструкторской документации на детали в виде чертежа, его разработка и чтение будет не потребной, а необходимостью. Но разработка чертежа не требуется на ранних стадиях разработки конструкторской документации и может быть произведена после на основе электронной модели детали, уже согласованной с технологическими службами.

4 Препятствия на пути повышения эффективности обмена информацией между конструкторскими и технологическими службами

Согласно ГОСТ 2.001-2013 [7] виды, комплектность и выполнение КД (бумажное или электронное) устанавливает разработчик, если иное не оговорено ТЗ (либо другим заменяющим документом). Для изделий, разрабатываемых по заказу Министерства обороны, эти решения должны быть согласованы с заказчиком (представительством заказчика). Таким образом, разработчик не обязан разрабатывать электронные модели деталей и согласовывать их с ответственными за их изготовление службами на ранних стадиях.

Следует отметить, несмотря на отсутствие формальной необходимости в некоторых случаях разработчик конструкторской документации по просьбе технологических служб предоставляет электронную модель детали при ее наличии, в том числе для разработки управляющих программ для станков с числовым программным управлением и обмера детали на контрольной измерительной машине. В таком случае ответственность за соответствие электронной модели детали чертежу разработчик не несет, и требуется проверка соответствия между ними. Практический пример проверки соответствия чертежа и электронной модели детали, содержащей 1676 граней (более 800 размеров в чертеже), занял 3 рабочих дня. В ходе проверки было обнаружено 10 несоответствий. Это показывает проблемы неофициального обмена информацией с помощью электронной модели детали.

В случае если разработчик конструкторской документации и производство являются одним юридическим лицом, руководство имеет возможность самостоятельно в масштабе предприятия обязать разработчика конструкторской документации обеспечивать разработку и согласование с технологическими службами электронных моделей деталей на ранних стадиях разработки.

Заключение

Исходя из данных исследования, проведенного на заводах *Rolls-Royce* [2], половина потерь, связанных с конструкцией изделия, фиксируется принятием проектных схем на ранних стадиях проектирования. Для того чтобы избавиться от этих потерь необходимо обеспечить эффективный механизм обмена технической информацией между разработчиком изделия и службами, ответственными за его производство. Для повышения эффективности обмена информацией между разработчиком изделия и производством следует использовать электронные модели деталей. На данный момент такой механизм обмена информацией допустим единой системой конструкторской документации, но не обязателен для разработчика и недостаточно регламентирован. В случае если разработчик конструкторской документации и производство являются одним юридическим лицом, руководство имеет возможность самостоятельно регламентировать документооборот с помощью электронных моделей деталей и согласование

их с технологическими службами на ранних стадиях проектирования. Для значительного повышения технологичности деталей эти действия являются необходимым условием, но не является достаточным условием. Для подтверждения экономического эффекта требуются экспериментальные исследования, с привлечением конструкторских, технологических служб и производства.

Литература

1 ГОСТ Р 56404-2021 Бережливое производство. Требования к системам менеджмента.

2 Symon, R.J. and K.J. Dangerfield, “The Application of Design to Cost at Rolls Royce”. NATO/AGARD Lecture Series 107, May 1980, p. 118-134.

3 ГОСТ 14.206-73 Технологический контроль конструкторской документации.

4 ГОСТ 2.102-2013 Единая система конструкторской документации. Виды и комплектность конструкторских документов.

5 ГОСТ 2.056-2021 Единая система конструкторской документации. Электронная модель детали.

6 ГОСТ Р 56020-2020 Бережливое производство, основные положения и словарь.

7 ГОСТ 2.001-2013 Единая система конструкторской документации. Общие положения.

Кривошеев Андрей Викторович – ведущий инженер-технолог, АО «Обуховский завод», г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: металлообработка.

E-mail: pro_milling@mail.ru

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

SUBSTANTIATION OF THE NEED TO USE DIGITAL PART MODELS IN DOCUMENT FLOW

This article examines the current state of interaction between design and technology departments. An attempt has been made to show the possibility of significantly increasing the manufacturability of products necessary to achieve the goals of the lean manufacturing management system.

Keywords: lean production; lean production management system; technological inspection of design documentation; digital part model.

Krivosheev Andrei Viktorovich – leading engineer technologist, JSC “Obukhovsky plant”, St. Petersburg.

Research interests: metalworking.

ПОРЯДОК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И СОХРАНЯЕМОСТИ ЭКБ ИП

Ванюков С.М., Котусев П.А., Русин А.А.

Рассмотрен порядок определения действительных показателей долговечности (гамма-процентного ресурса, гамма-процентного срока службы) и сохраняемости (гамма-процентного срока сохраняемости) электронной компонентной базы иностранного производства при ее применении в аппаратуре, приборах, устройствах и оборудовании различных квалификационных групп.

Ключевые слова: электронная компонентная база; надежность; долговечность; сохраняемость.

Введение

Одной из главных проблем создания радиоэлектронной аппаратуры остается недостаток разнообразия отечественной элементной базы. При комплектовании используется большое количество типономиналов электронной компонентной базы (ЭКБ) отечественного производства (ОП). С каждым годом их доля всё больше, однако применение ЭКБ иностранного производства (ИП) все еще имеет большое влияние. Полный отказ от ЭКБ ИП невозможен ввиду массогабаритных, вычислительных, электрических и других ограничений ЭРИ ОП, а также отсутствия возможности изменять утвержденные схемотехнические решения при переходе на аналоги в заданные директивные сроки создания образцов.

Известно, что надежность функционирования любых изделий в значительной степени зависит от качества и надежности применяемой ЭКБ, а также условий эксплуатации, однако для ЭКБ ИП актуальна проблема определения достоверных показателей надежности.

Основной проблемой оценки показателей надежности изделий ЭКБ ИП является отсутствие актуальных справочных данных по изделиям, разрешенным к использованию на территории Российской Федерации, а также утвержденных и аккредитованных методик оценки показателей долговечности на основе данных иностранных справочников по надежности и результатов испытаний изделий ЭКБ ИП, проведенных на территории и в соответствии с нормативными документами иностранных государств.

Зачастую производители ЭКБ ИП не приводят в своих сопроводительных нормативных документах (*datasheet*, буклетах, официальных ответах производителей) показатели надежности, что приводит к трудностям достоверного подтверждения заданных требований. На текущий момент основным методом получить такие данные является проведение ускоренных испытаний.

Особенность разработки современных сложных технических систем – необходимость оценки достижимости заданных параметров на ранних этапах проектирования для дальнейшего планирования работ.

В связи с этим проблема отсутствия данных при подтверждении технических и эксплуатационных характеристик ЭКБ ИП требованиям, предъявляемым по ТЗ, становится особенно актуальной. Нормативной документации на такие случаи не разработано, что вынуждает инженеров искать различные пути решения данной проблемы и прибегать к другим методам оценки надежности.

1 Общие положения

Одними из основных показателей надежности ЭКБ являются показатели долговечности и показатели сохраняемости.

Долговечность – свойство объекта сохранять работоспособное состояние до наступления предельного состояния при установленной системе технического обслуживания и ремонта.

Для оценки долговечности изделия применяют показатели, характеризующие выход за допустимые пределы основных технических характеристик (мощность, скорость, точность, КПД и др.) или способность выполнять свои функции с допустимыми затратами на обслуживание и ремонт. К числу таких показателей относят ресурс и срок службы.

Ресурс – суммарная наработка объекта от начала его эксплуатации или ее возобновления после ремонта до момента достижения объектом предельного состояния.

Срок службы – календарная продолжительность эксплуатации объекта от начала эксплуатации или ее возобновления после капитального ремонта до момента достижения объектом предельного состояния.

Основное отличие срока службы от ресурса в том, что срок службы характеризует продолжительность существования объекта независимо от характера его использования, а ресурс – фактическую наработку изделия.

Показатели долговечности, выраженные в календарном времени работы, позволяют непосредственно использовать их в планировании сроков организации ремонтов, поставки запасных частей, замены оборудования. Недостаток этих показателей заключается в том, что они не позволяют учитывать интенсивность использования оборудования.

Сохраняемость – свойство объекта сохранять в заданных пределах значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять требуемые функции в течение и после хранения и (или) транспортирования.

Срок сохраняемости – календарная продолжительность хранения и/или транспортирования объекта, в течение которой значения параметров, характеризующих способность объекта выполнять заданные функции, остаются в пределах, установленных в документации.

В процессе хранения и транспортирования объекты подвергаются неблагоприятным воздействиям, например, колебаниям температуры, действию влажного воздуха, вибрациям и т.п. В результате после хранения и (или) транспортирования объект может оказаться в неработоспособном и даже в предельном состоянии. Сохраняемость объекта характеризуется его способностью противостоять отрицательному влиянию условий и продолжительностью его хранения и транспортирования.

В настоящее время в зависимости от условий эксплуатации аппаратура может подразделяться на следующие классы:

- аппаратура наземной техники;
- аппаратура морской техники;
- аппаратура авиационной техники;
- аппаратура ракетной техники;
- аппаратура космической техники;
- аппаратура боеприпасов артиллерии.

В зависимости от условий и режимов работы, требования к сохраняемости устанавливаются по-разному: для объектов некоторых классов может устанавливаться условие нахождения объекта после хранения в том же состоянии, что и в начале. В этом случае объект должен удовлетворять требованиям безотказности, долговечности и ремонтпригодности, предъявляемым к объекту на момент начала хранения. В реальных условиях происходит ухудшение параметров, характеризующих работоспособность аппаратуры, а также снижение его остаточного ресурса. В одних случаях требуется, чтобы после хранения и (или) транспортирования объект оставался в работоспособном состоянии. В большинстве других случаев необходимо, чтобы объект сохранял достаточный запас работоспособности, т.е. обладал достаточной безотказностью после хранения и (или) транспортирования. В тех случаях, когда предусмотрена специальная подготовка объекта к применению по назначению после хранения и (или) транспортирования, требование о сохранении работоспособности заменяется требованием сохранения в заданных пределах технических параметров объекта, определяющих его безотказность и долговечность.

2 Методы определения показателей долговечности и сохраняемости ЭКБ ИП

Оценка соответствия аппаратуры требованиям ТЗ в части надежности проводится на основании перечня ЭКБ, применяемого в аппаратуре: показатели долговечности и сохраняемости электрорадиодеталей должны быть не менее показателей, заданных по ТЗ.

Если для ЭКБ ОП подтверждение данного требования выполняется проведением анализа нормативной документации и документации на поставку, то для ЭКБ ИП может быть выполнено несколькими принципиально разными методами:

- аналитическим;
- экспериментальным;
- расчетным.

2.1 Аналитический метод

Аналитический метод основан на анализе нормативных документов. Документами, содержащими показатели надежности, могут быть *datasheet*, буклеты, отчеты о безотказности (*reliability reports*), официальные ответы производителей, информационные бюллетени, в которых приведены значения срока службы и ресурса при заданной вероятности не достижения предельного состояния.

Статистическими данными, которые используют в иностранной практике для выражения показателей, являются:

- средняя наработка между отказами (*Mean Time Between Failures (MTBF)*);
- средняя наработка до отказа (*Mean Time To Failures (MTTF)*);
- частота отказов (*Failures in Time (FIT)*).

С точки зрения надежности, полным аналогом показателя безотказности (средняя наработка до отказа) в иностранных нормативных документах является показатель *MTTF*.

Для показателей долговечности такие аналогии отсутствуют.

Главный недостаток нормативной документации на ЭКБ ИП заключается в том, что их формы не предусматривают обязательное указание раздела показателей надежности.

В случае, если раздел имеется, то там указываются значения, рассчитанные при фиксированной температуре и влажности, соответствующие нормальным климатическим условиям. Данные, описывающие ресурс при применении в условиях, отличающихся от нормальных, отсутствуют, а методики расчета производители не распространяют, что делает невозможным выполнить оценку показателей для требуемых ВВФ.

При отсутствии интересующих данных в иностранной нормативной документации допускается возможность выполнить анализ по техническим условиям изделий ЭКБ ОП, являющимися аналогами ЭКБ ИП.

Однако данный метод является консервативной оценкой, не учитывающей различий в технологиях производства, свойственных каждой стране. Зачастую, при сравнении имеющихся показателей надежности на ЭРИ ИП по данным *datasheet* и их отечественных аналогов по техническим условиям, показатели надёжности ЭРИ ИП значительно выше.

2.2 Экспериментальный метод подтверждения

Экспериментальный метод основан на подтверждении показателей надежности ЭКБ ИП по результатам проведения испытаний.

Показатели надежности ЭКБ ИП могут быть получены по результатам сертификационных испытаний (СИ) в аккредитованных испытательных технологических центрах (ИТЦ).

Также показатели надежности ЭКБ ИП могут подтверждаться в составе аппаратуры, в которую они входят, в рамках соответствующих испытаний на предприятиях-изготовителях.

2.2.1 Сертификационные испытания

Целью проведения СИ является установление соответствия технических параметров и эксплуатационных характеристик ЭКБ ИП требованиям, установленным к аппаратуре, включая требования по надежности.

Сертификация проводится в аккредитованных ИТЦ или лабораториях по модели внешних воздействующих факторов, в которую могут включаться и показатели долговечности и сохраняемости.

На основании результатов сертификации выпускаются заключения и сертификаты, в которых в том числе подтверждаются требования надежности не менее заданных в ТЗ.

Не смотря на то, что заключения и сертификаты являются достоверными источниками данных о параметрах ЭРИ ИП, сертификационные испытания имеют ряд недостатков.

Главный недостаток – сертификация ЭРИ ИП проводится на поздних этапах разработки, часто на этапе изготовления, с получением результатов к моменту завершения всех видов испытаний, в то время как подтверждение достижимости требований ТЗ необходимо на этапе эскизного проектирования и этапе рабочей конструкторской документации (РКД).

Также необходимо помнить, что обязательные требования к проведению сертификационных испытаний предъявляются не для всех классов аппаратуры, поэтому в рамках изготовления аппаратуры других классов они не закладываются ввиду высокой стоимости.

Из этого исходит следующая проблема – высокая стоимость некоторых образцов ЭКБ ИП, которые необходимо предоставить на испытания зачастую в большом количестве. Закупка дополнительных образцов ЭКБ ИП высокой стоимости без возможности их дальнейшего применения в изделии – серьезная проблема при планировании на этапе ценообразования.

2.2.2 Испытания в составе аппаратуры

Соответствие ЭКБ ИП требованиям долговечности и сохраняемости может быть подтверждено в составе аппаратуры в ходе проведения соответствующих испытаний. При положительных результатах считается, что ЭКБ ИП, входящая в состав аппаратуры, соответствует предъявляемым требованиям.

Такой метод подтверждения даже при проведении в форсированном режиме может занимать большой промежуток времени – от нескольких недель до нескольких месяцев, – что создает сложности в условиях сжатых сроков разработки и поставки аппаратуры заказчиком.

Один из главных минусов данного способа, помимо создания отдельного образца специально для испытаний, заключается в том, что в случае отрицательного результата на надежность из-за применения ЭКБ ИП необходима корректировка конструкторской документации и повторное проведение испытаний, что может привести к срыву сроков выполнения контрактов.

При планировании испытаний ЭКБ ИП в составе аппаратуры необходимо учитывать, что для некоторых типов изделий испытания на долговечность и сохраняемость не проводятся, а оценку соответствия аппаратуры заданным требованиям необходимо осуществлять расчетным методом с использованием априорной информации о результатах испытаний и (или) эксплуатации аналогов и прототипов разрабатываемой аппаратуры.

2.3 Расчетный метод

Ввиду высокой трудоемкости испытаний на ресурс и сохраняемость, а также необходимости подтверждения показателей на ранних этапах разработки, для определения показателей ЭКБ ИП проводится расчетная оценка.

В случае бортовой аппаратуры ракетно-космической техники замена испытаний на расчет несет высокие риски ввиду неремонтопригодности и длительного срока активного существования, поэтому расчетный метод применяется как дополнительный.

Гамма-процентная наработка до отказа, гамма-процентный ресурс, гамма-процентный срок службы, гамма-процентный срок сохраняемости - это значения

наработки, ресурса, срока службы и срока сохраняемости, при которых с вероятностью γ объект не достигает предельного состояния

$$P(t) = \frac{\gamma}{100}. \quad (1)$$

Расчетный метод для ЭКБ ИП основан на подтверждении показателей надежности с учетом требуемого уровня безотказности: при подтверждении гамма-процентных показателей надежности $T(\gamma)$ подтверждается не уровень требований T , а вероятность достижения гамма-процентных требований γ за срок T .

Для описания распределения времени до отказа применяется экспоненциальное распределение

$$P(t) = e^{-\lambda t}, \quad (2)$$

где λ – интенсивность отказов,
 t – время.

Расчетная оценка вероятности безотказной работы и вероятности невозникновения отказа за время хранения ЭКБ ИП производится на основании расчетной оценки интенсивности отказов, которая может быть определена по результатам применения ЭРИ или по справочным данным.

Интенсивность отказов по результатам применения рассчитывается в соответствии с формулой

$$\lambda = \frac{[(\chi^2)_{a,2r+2}] / 2}{\sum_{i=1}^n N_n T_n}, \quad (3)$$

где $[(\chi^2)_{a,2r+2}] / 2$ – квантиль распределения хи-квадрат для заданных условий и полученных результатов (a , r), составляет 0,92 для доверительной вероятности 0,6 и числа отказов (рекламаций) – 0;

N – общий объем примененного типонаминала ЭРИ;

T – значения наработки ЭРИ;

n – число рассматриваемых периодов применения.

Интенсивность отказов в режимах и условиях, заданных на аппаратуру, рассчитывается по моделям, приведенным справочнике «Надежность электрорадиоизделий иностранного производства» редакции 2006 г.

Учет режимов работы (температура, величина напряжения питания, коэффициенты нагрузки и т.д.) и других особенностей (сложность изделия, тип корпуса и т.д.) выражается во введении коэффициентов в математическую модель эксплуатационной интенсивности отказов, имеющей вид

$$\lambda = \lambda_{б.с.г} \cdot \prod_i^n K_i, \quad (4)$$

где $\lambda_{б.с.г}$ – базовая интенсивность отказов группы электрорадиоизделий, 1/ч;

K_i – коэффициенты, учитывающие изменения эксплуатационной интенсивности отказов электрорадиоизделий в зависимости от различных факторов;

n – число учитываемых факторов.

Отношение интенсивности отказов при хранении к интенсивности отказов при эксплуатации максимально может составлять единицу. Расчеты гамма-процентного срока службы (срока сохраняемости) проводятся для максимального случая, обеспечивающего наибольшую достоверность прогноза. Интенсивность отказов при хранении соответствует интенсивности отказов при эксплуатации.

Модели расчета эксплуатационной интенсивности отказов распространяются на период постоянства интенсивности отказов элементов во времени.

Расчетный метод показателей надежности ЭКБ ИП включает:

- определение значений интенсивностей отказов ЭКБ ИП при эксплуатации для соответствующих классов;
- определение вероятности безотказной работы ЭКБ ИП за требуемый ресурс;
- определение вероятности безотказной работы ЭКБ ИП за требуемый срок службы;
- определение значений интенсивностей отказов ЭКБ ИП при хранении;
- определение вероятности невозникновения отказа за время хранения.

Исходными данными для проведения расчетной оценки показателей надежности являются:

- сопроводительная нормативная документация на ЭКБ ИП;
- результаты эксплуатации;
- стандарты, технические условия и спецификация на ЭКБ ИП;
- справочники по надежности ЭКБ ИП и другие информационные материалы.

Алгоритм подтверждения требований в части ресурса следующий:

- определить эксплуатационную интенсивность отказов ЭКБ ИП;
- определить ВБР на основании эксплуатационной интенсивности отказов за срок, заданный в ТЗ;
- сравнить результаты расчета с требованиями ТЗ.

2.3.1 Пример подтверждения требований надежности ЭКБ ИП с учетом результатов эксплуатации

Рассмотрим пример при использовании конденсаторов *X7R* при подтверждении требований по назначенному ресурсу (100000 ч при $\gamma=99\%$).

По результатам применения конденсаторов *X7R* в аппаратуре отказы отсутствуют.

Общие объемы ($N_1, N_2, N_3, N_4, N_5, N_6$) примененных конденсаторов составляют: в 2009 г. (2612 шт.), 2010 г. (23856 шт.), 2011 г. (8632 шт.), 2012 г. (3910 шт.), 2013 г. (4312 шт.), 2014 (4042 шт.).

Значения наработки ($T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$) конденсаторов составляют 51096 ч, 42336 ч, 33576 ч, 24816 ч, 16056 ч, 7296 ч.

Интенсивность отказов конденсаторов по результатам применения, рассчитанная по формуле (3), составляет $5,648 \cdot 10^{-10}$ 1/ч.

Расчетная оценка вероятности безотказной работы по формуле (2) за 100000 ч составляет 0,99994.

2.3.2 Примеры подтверждения требований надежности ЭКБ ИП с учетом режимов работы аппаратуры

В таблице 1 приведен пример подтверждения требований по назначенному ресурсу (55000 ч при $\gamma=99\%$) для ЭКБ ИП, применяемой в аппаратуре космической техники.

Т а б л и ц а 1 – Пример подтверждения требований по назначенному ресурсу

Наименование типа ЭКБ	$\lambda_{б.с.г.}, 10^{-7} 1/ч$	Кэ	Еа, эВ	Тэ, °С	Кt	Кпр	КС	Кs	$\lambda, 10^{-7} 1/ч$	$\gamma Э$
Конденсатор Х7R-10 V-0,1 мкФ ±10%	0,02	0,5	0,35	60	4,189	3	0,813	5,629	0,575	0,997

В таблице 2 приведен пример подтверждения требований по назначенному сроку службы (5 лет при $\gamma=99\%$) для ЭКБ ИП, применяемой в аппаратуре космической техники.

Т а б л и ц а 2 – Пример подтверждения требований по назначенному сроку службы

Наименование типа ЭКБ	$\lambda_{б.с.г.}, 10^{-7} 1/ч$	Кэ	Еа, эВ	Тэ, °С	Кt	Кпр	КС	Кs	$\lambda, 10^{-7} 1/ч$	$\gamma Э$
Конденсатор Х7R-10 V-0,1 мкФ ±10%	0,02	0,5	0,35	60	4,189	3	0,812	5,629	0,575	0,997

В таблице 3 приведен пример подтверждения требований по назначенному сроку хранения (5 лет при $\gamma=99\%$) ЭКБ ИП при хранении в отапливаемом хранилище.

Т а б л и ц а 3 – Пример подтверждения требований по назначенному сроку хранения

Наименование типа ЭКБ	$\lambda_{б.с.г.}, 10^{-7} 1/ч$	Кх	Еа, эВ	Тхр, °С	Кt.х	Кпр	Кусл	$\lambda, 10^{-10} 1/ч$	$\gamma Э$
Конденсатор Х7R-10 V-0,1 мкФ ±10%	0,02	0,0057	0,35	20	0,793	3	1	0,27	0,999

Согласно результатам, приведенным в таблицах 1-3, можно сделать вывод, что вероятность безотказной работы за время эксплуатации или срок службы и вероятность невозникновения отказа за время хранения не менее требуемой вероятности. ЭКБ ИП соответствуют требованиям по надежности, предъявляемым к аппаратуре.

Заключение

Опыт применения АО «РИРВ» ЭКБ ИП в аппаратуре, приборах, устройствах и оборудовании различных квалификационных групп показывает, что при анализе соответствия ЭКБ ИП существует ряд проблем, вызванных отсутствием нормативной документации, регламентирующей порядок оценки показателей надёжности ЭКБ ИП.

Предложенные АО «РИРВ» методы оценки основаны на общих подходах согласно существующим нормативным документам и базируются на разных принципах (аналитический и расчетный методы). При использовании различных методов подтверждения надёжности ЭРИ ИП можно столкнуться с проблемами, которые непосредственно влияют на результат и его достоверность:

- в аналитическом методе возникают проблемы с достоверностью данных, приведенных в зарубежных нормативных документах. При выборе аналога из ЭКБ ОП могут возникнуть сложности сравнительного анализа параметров;

- в экспериментальном методе необходимо закладывать большие временные и финансовые затраты;

- в расчетном методе могут возникнуть проблемы с поиском и достоверностью исходных данных, необходимых для проведения расчетов показателей надежности ЭКБ ИП, а также с актуальностью данных, т.к. справочники по надежности ЭКБ не переиздавались с 2006 г. и не включают статистику по отказам за последнее время.

Исходя из недостатков аналитических и экспериментальных методов подтверждения, можно сделать вывод, что, несмотря на недостатки, расчетный метод – единственный, которым можно воспользоваться для определения показателей надежности. Считается, что в ракетно-космической технике (РКТ) расчеты на основе справочников могут использоваться для подтверждения показателей надежности, но в дополнение к испытаниям, а не вместо них. Однако ведущие предприятия в области РКТ отходят от этой практики, что еще острее ставит вопрос о стандартизации подобных расчетов и выработки единого решения для всех предприятий отрасли при условии обновления имеющихся справочных баз данных.

Практический опыт АО «РИРВ» показывает, что возможность использования различных расчетных методов оценки показателей надежности ЭКБ ИП требует разработки единого научно-методического аппарата по оценке показателей долговечности и сохраняемости ЭКБ ИП.

Литература

1 ГОСТ Р 27.102-2021. Надежность в технике. Надежность объекта. Термины и определения. – М.: ФГБУ «РСТ», 2021. – 40 с.

2 Надежность электрорадиоизделий. Справочник. – ФГУ «22 ЦНИИИ МО РФ» совместно с ОАО «РНИИ «Электронстандарт» и ОАО «Стандартэлектро», 2006. – 641 с.

3 Надежность ЭРИ ИП. Справочник. – ФГУ «22 ЦНИИИ МО РФ» совместно с АО «РНИИ «Электростандарт», 2006. – 52 с.

4 Боровиков С.М. Теоретические основы конструирования, технологии и надежности. – Мн.: Дизайн ПРО, 1998. – 336 с.

Ванюков Сергей Михайлович – заместитель генерального директора, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург

Область научных интересов: стандартизация и управление качеством, надежность технических систем, управление рисками, прогнозирование параметров технического состояния радиоэлектронной аппаратуры и приборов.

E-mail: sm.vanyukov@yandex.ru

Котусев Павел Александрович – начальник отдела, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург

Область научных интересов: надежность технических систем, инженерные расчеты радиоэлектронной аппаратуры, моделирование и цифровые двойники.

E-mail: p.kotusev@rirt.ru

Русин Александр Андреевич – заместитель начальника отдела, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург

Область научных интересов: надежность технических систем, инженерные расчеты радиоэлектронной аппаратуры, моделирование и цифровые двойники.

E-mail: a.rusin@rirt.ru

THE PROCEDURE FOR DETERMINING THE ACTUAL INDICATORS OF DURABILITY AND STORABILITY OF ECB FP

The article presents the procedure for determining the actual indicators of durability (gamma-percentile operating life, gamma-percentile useful life) and storability (gamma-percentile storing life) of ECB FP when using in equipment, devices, apparatus of various qualification groups.

Keywords: electronic component base; reliability; durability; storability.

Vanyukov Sergey Mikhailovich – Deputy General Director for Quality, JSC «Russian Institute of Radio Navigation and Time», Saint-Petersburg.

Research interests: standardization and quality management, reliability of technical systems, risk management, forecasting parameters of the technical condition of electronic equipment and devices.

Kotusev Pavel Aleksandrovich – Head of the Reliability Department, JSC «Russian Institute of Radio Navigation and Time», Saint-Petersburg.

Research interests: reliability of technical systems, engineering calculations of electronic equipment, modeling and digital doubles.

Rusin Alexander Andreevich – Deputy Head of the Reliability Department, JSC «Russian Institute of Radio Navigation and Time», Saint-Petersburg.

Research interests: reliability of technical systems, engineering calculations of electronic equipment, modeling and digital doubles.

УДК 528.486

ПРОБЛЕМЫ КООРДИНАТНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ГРАДОСТРОИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Тарелкин Е.П., Никитин А.В., Ермолаев С.В.

Рассмотрен понятийный аппарат инженерных изысканий и градостроительной деятельности, показано, что действующее законодательство и нормативная база инженерных изысканий для градостроительной деятельности содержит достаточно большое число положений, порождающих противоречия и ставящих отрасль в тупиковые ситуации. Одной из острейших проблем в условиях санкций стало техническое обеспечение отрасли спутниковыми приборами. Сформулированы предложения по проекту Концепции совершенствования системы координатного обеспечения в градостроительной деятельности.

Ключевые слова: координатное обеспечение; инженерно-геодезические изыскания; геодезические и картографические работы; материалы и результаты инженерных изысканий; осуществление градостроительной и кадастровой деятельности.

Введение

Координатное обеспечение градостроительной деятельности осуществляется в рамках инженерно-геодезических изысканий [14] и включает в себя:

- создание опорных геодезических сетей;
- геодезические наблюдения за деформациями и осадками зданий и сооружений, движениями земной поверхности и опасными природными процессами;
- создание и обновление инженерно-топографических планов в масштабах 1:5000-1:200, в том числе в цифровой форме, съемка подземных коммуникаций и сооружений;
- трассирование линейных объектов;
- инженерно-гидрографические работы;
- специальные геодезические и топографические работы при строительстве и реконструкции зданий и сооружений.

Координатное обеспечение первично по отношению к другим видам инженерных изысканий (геологических, экологических, гидрометеорологических), поскольку данные о природной и техногенной средах не имеют смысла без определения их пространственного положения. Инженерно-топографические планы на протяжении всего жизненного цикла зданий и сооружений выступают как основные документы управления градостроительной деятельностью. Значимость координатного обеспечения, как и инженерных изысканий в целом, имеет важное и определяющее значение для государства, поскольку на основе результатов изысканий обеспечивается, вернее, должно обеспечиваться устойчивое развитие территорий. Координатное обеспечение представляет собой систему (рисунок 1), как совокупность взаимосвязанных, взаимообусловленных и взаимозависимых элементов.



Рисунок 1 – Координатное обеспечение как система

Каждый из элементов координатного обеспечения абсолютно необходим для функционирования системы, однако, с точки зрения эволюции, в определенные периоды времени, каждый из элементов становится основным и обеспечивает развитие системы. При этом необходимость преобразований диктуется выводами из анализа фондов координатного обеспечения, как информационного ресурса развития отрасли, а качественный скачок в развитии системы начинается с внедрения принципиально новых образцов техники и приборов. К сожалению, в настоящее время система разрушена, что отрицательно сказывается на качестве, на градостроительной деятельности.

1 Проблемы законодательства. Вид деятельности в инженерных изысканиях

Обратимся к своду правил «Инженерные изыскания для строительства» [14]: «Общие положения. 4.1 Инженерные изыскания – обязательная часть градостроительной деятельности...». Аналогичное понимание дает нам и ЕКС [2], где в разделе «Квалификационные характеристики должностей руководителей и специалистов архитектуры и градостроительной деятельности» находим «6. Инженерные изыскания для строительства». Однако ГрК РФ [1] трактует иначе: «статья 1.1) градостроительная деятельность – деятельность по развитию территорий, в том числе городов и иных поселений, осуществляемая в виде территориального планирования, градостроительного зонирования, планировки территории, архитектурно-строительного проектирования, строительства, капитального ремонта, реконструкции, сноса объектов капитального строительства, эксплуатации зданий, сооружений, комплексного развития территорий и их благоустройства». Инженерных изысканий здесь нет.

В ОКВЭД [13] содержится иная от СП [14] точка зрения: «Раздел М. Деятельность профессиональная научная и техническая. 71.1 Деятельность в области архитектуры, инженерных изысканий ... 7.12.4 Деятельность геодезическая и картографическая. 7.12.45 Инженерные изыскания в строительстве».

Закон «О геодезии, картографии и пространственных данных ...» [7], в статье 5. «Геодезические и картографические работы», подтверждает положения ОКВЭД:

«1. При осуществлении геодезической деятельности выполняются геодезические работы по определению координат и (или) высот точек земной поверхности, пространственных объектов, изменений во времени указанных координат и высот...

3. Выполнение геодезических и картографических работ при осуществлении градостроительной и кадастровой деятельности, землеустройства, недропользования, иной деятельности ..., регулируется настоящим Федеральным законом».

Таким образом, суть геодезической и картографической деятельности состоит в работах, которые выполняются и при осуществлении градостроительной деятельности, т.е. в ходе инженерно-геодезических изысканий. С данным положением можно

согласиться, однако в ОКВЭД «7.12.45 Инженерные изыскания в строительстве» все виды изысканий (геологические, экологические, гидрометеорологические) отнесены к геодезической и картографической деятельности.

2 Проблемы управления. Регуляторы

Сейчас весьма модным словом стало «регулирование». Разные виды регуляторов, от законов до ведомств, внедряются в российскую действительность, не ведая о том, что «регулировать», чем занимается регулировщик движения, это отнюдь не управлять и даже не руководить. Рассмотрим вопрос о регулировании одного из видов инженерных изысканий – геодезических. Закон «О геодезии, картографии ...» [7], в статье 5 довольно четко определяет: «3. Выполнение геодезических и картографических работ при осуществлении градостроительной и кадастровой деятельности, землеустройства, недропользования, иной деятельности ..., регулируется настоящим Федеральным законом». Логично, поскольку в ГрК РФ [1] в статье 4 представлены отношения, регулируемые законодательством в градостроительной деятельности, а именно: «1. Законодательство о градостроительной деятельности регулирует отношения по территориальному планированию, градостроительному зонированию, планировке территории, архитектурно-строительному проектированию, отношения по строительству объектов капитального строительства, их реконструкции, капитальному ремонту, сносу, а также по эксплуатации зданий, сооружений (далее - градостроительные отношения)».

В данном определении нет ни слова об инженерных изысканиях, как и упомянутые отношения (территориальное планирование, градостроительное зонирование и т.д.) не включают в себя инженерные изыскания.

Тем не менее, ГрК РФ [1] в явном виде регулирует отношения в инженерных изысканиях, что следует даже из названия его глав и статей: «Статья 41.2. Инженерные изыскания для подготовки документации по планировке территории». «Статья 47. Инженерные изыскания для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства». «Статья 49. Экспертиза проектной документации и инженерных изысканий». «Глава 6.1. Саморегулирование в области инженерных изысканий, архитектурно-строительного проектирования...».

Не менее запутанно выглядит ситуация с конкретным регулятором, ведомством. Согласно Закону «О геодезии, картографии ...» [7], статья 5 имеем «4. Требования к геодезическим и картографическим работам и их результатам ..., устанавливаются федеральным органом исполнительной власти, осуществляющим функции по выработке государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере геодезии и картографии, а также по согласованию с ним другими федеральными органами исполнительной власти в пределах их компетенции». Таким органом в Российской Федерации является Минэкономразвития, а непосредственно – Росреестр.

Однако ГрК РФ [1] в статье «47. Инженерные изыскания для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства», говорит об ином: «6. Виды инженерных изысканий, порядок их выполнения для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства, состав, форма материалов и результатов инженерных изысканий, порядок их представления для размещения в государственных информацион-

ных системах обеспечения градостроительной деятельности устанавливаются Правительством Российской Федерации».

И действительно, виды инженерных изысканий, порядок их выполнения установлены Постановлением Правительством Российской Федерации от 19.01.2006 №20 «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства» [10]. Здесь же находим два интересных положения, которые возлагают обязанности на Минстрой: «4. Требования к составу и оформлению задания и программы выполнения инженерных изысканий устанавливаются Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» и «6. Материалы и результаты инженерных изысканий оформляются в виде отчетной документации о выполнении инженерных изысканий, состоящей из текстовой и графической частей, а также приложений к ней (в текстовой, графической, цифровой и иных формах). Состав текстовой и графической частей указанной документации, а также приложений к ней устанавливается Министерством строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации». Обратимся к действующему положению о Минстрое РФ, утвержденному Постановлением Правительства РФ от 18 ноября 2013 г. с изменениями и дополнениями [11]. В пункте 1 «Общих положений» определены функции Минстроя России «по выработке и реализации государственной политики и нормативно-правовому регулированию в сфере строительства ..., архитектуры, градостроительства ...». Инженерных изысканий и здесь нет. Таким образом, не обладая полномочиями по регулированию инженерных изысканий, ГрК РФ наделяет полномочиями по регулированию Правительство Российской Федерации, а то – Минстрой, который не наделен полномочиями по нормативно-правовому регулированию.

Ранее мы показали, что выполнение геодезических и картографических работ в градостроительной деятельности регламентируется законом «О геодезии, картографии ...» [7], статья 5. Однако Федеральный закон от 27 декабря 2002 года №184-ФЗ «О техническом регулировании» [8] в статье 1 «Сфера применения настоящего закона» заявляет, что «регулирует отношения, возникающие при разработке, принятии, применении и исполнении обязательных требований к продукции, в том числе зданиям и сооружениям (далее – продукция), или к продукции и связанным с требованиями к продукции процессам проектирования (включая изыскания)».

3 Проблемы технического регулирования. Вид продукции

В ГрК РФ [1] пункт 2 статьи 47 находим положение: «Работы по договорам о выполнении инженерных изысканий ...». И так, в ходе инженерных изысканий выполняются работы. Закон «О геодезии, картографии ...» [7] говорит о том же: «1. При осуществлении геодезической деятельности выполняются геодезические работы...». Иную трактовку дает нам Закон «О техническом регулировании» [8], где в статье 1 инженерные изыскания, как и проектирование, трактуются как «процесс». При этом понятие «продукция» и «процесс» принципиально разделены. Под продукцией в данном законе («статья 2. Основные понятия») понимается: «результат деятельности, представленный в материально-вещественной форме и предназначенный для дальнейшего использования в хозяйственных и иных целях». К сожалению, определение «процесса» в законе нет, поэтому воспользуемся услугами Википедии в сети Интер-

нет, где находим, что в теории управления данное понятие трактуется как «устойчивая и целенаправленная совокупность взаимосвязанных действий, которые по определённой технологии преобразуют входы в выходы для получения заранее определённых продуктов, результатов или услуг, представляющих ценность для потребителя».

Что такое «работа» дается в Налоговом Кодексе Российской Федерации (НК РФ) [6], в статье 38: «4. Работой для целей налогообложения признается деятельность, результаты которой имеют материальное выражение и могут быть реализованы для удовлетворения потребностей организации и (или) физических лиц». И так, работа вообще и в инженерных изысканиях в частности – это деятельность, результатом которой является продукция, имеющая материальное выражение. Работа – частное определение процесса, в ходе которого получаются не только продукты, но и результаты, и услуги.

ОКВЭД [13], идет вразрез с законодательством РФ и трактует изыскания как услуги: «71.1 Деятельность в области архитектуры, инженерных изысканий и предоставление технических консультаций в этих областях».

Эта группировка включает предоставление архитектурных, инженерно-технических услуг, услуг по разработке чертежей, по строительным изыскательским работам, услуг по картографии и т.п.».

Определение услуги дает НК РФ [6] в статье 38: «5. Услугой для целей налогообложения признается деятельность, результаты которой не имеют материального выражения, реализуются и потребляются в процессе осуществления этой деятельности». Весьма удачное выражение, ровно как весьма неудачное представление результатов деятельности в инженерных изысканиях в виде услуги, не имеющей материального выражения.

Вместе с тем, инженерные изыскания, в первую очередь геодезические, уже два десятилетия назад перешли на получение и представление результатов изучения местности в цифровой форме, что нашло свое отражение не только в понятиях «план инженерно-топографический», «инженерная цифровая модель местности», содержащихся в Своде правил [14], но и требованиях, установленных Правительством Российской Федерации [12]: «В случаях если застройщик или технический заказчик обеспечивает формирование и ведение информационной модели объекта капитального строительства, результаты инженерных изысканий подготавливаются в форме, позволяющей осуществлять их использование при формировании и ведении такой информационной модели». Требование к представлению информации в цифровой форме содержится и в ГрК РФ [1], статья «56. Государственные информационные системы обеспечения градостроительной деятельности».

4. Государственные информационные системы обеспечения градостроительной деятельности включают в себя:

10) материалы и результаты инженерных изысканий;

9. Доступ... к сведениям, документам, материалам, содержащимся в государственной информационной системе обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации, осуществляется с использованием официального сайта государственной информационной системы обеспечения градостроительной деятельности Российской Федерации в сети Интернет ...».

Таким образом, результаты изысканий могут иметь и не материальную форму,

что в большей степени все и происходит. Как мы приводили выше, не материальную форму могут иметь только услуги, которые «реализуются и потребляются в процессе осуществления этой деятельности».

4 Проблемы технического обеспечения

Конец 20 века в России знаменовался как перестройкой политической системы, так и новым технологическим укладом. Приборы для геодезических измерений стали роботизированными системами, позволяющими в цифровой форме не только получать информацию о местности, но и анализировать ее, выбирать оптимальные варианты решений, строить как математические, так и визуальные модели изучаемых объектов в трехмерном пространстве. Перестройка политической системы позволила российским предпринимателям довольно быстро наладить поставку передовых технических средств из Европы и Китая, способствуя тем самым развитию системы координатного обеспечения. Вместе с тем, российское геодезическое приборостроение, и до того отстававшее от западных образцов, практически сгнуло, что особо не волновало профессионалов вплоть до начала военной операции на Украине. Обширные санкции европейских государств в отношении России в полной мере распространились и на геодезическую технику: спутниковые приборы, тахеометры, цифровые нивелиры, съемочные и фотограмметрические системы и т. д. Доля китайское оборудование увеличилась, однако программное обеспечение начало сдавать сбои. Спустя год после введения санкций российские поставщики смогли наладить поставку и европейского оборудования, однако увеличились и сроки поставки, и стоимость, и меры ответственности. Поэтому проблемы создания собственной материальной базы отечественного приборостроения остается острейшей и первостепенной в системе координатного обеспечения градостроительной деятельности, а разработки РИРВ по созданию отечественных спутниковых навигационных приборов – важнейшими для государства. При этом актуальны исследования и по достижению требуемых точностей при инженерных изысканиях в условиях отключения США и Европой доступа к их спутниковым системам глобального позиционирования.

5 Проблемы фондов инженерных изысканий

С 2019 года ГрК РФ [1] исключил необходимость формирования фондов инженерных изысканий в рамках градостроительной деятельности. Данное решение повлекло за собой уничтожение реально работающих структур регионального масштаба, обеспечивающих изыскательские организации геопространственной информацией в виде инженерных топографических планов различных масштабов, созданных в прошлые годы. По мысли законодателей функции уничтоженных структур должны были занять системы информационного обеспечения градостроительной деятельности муниципального уровня. При этом все заботы легли на органы местной власти, поэтому ни кадрами, ни программными комплексами, ни стройной регламентирующей документацией передача фондов не была обеспечена, как и не обеспечена и до сих пор. По задумке реформаторов многие проблемы должна была решить цифровизация координатного обеспечения, однако и эти процессы затянулись, а решения в ближайшие годы не предвидится. Вместе с тем отсутствие данных о местоположении подземных коммуникаций в виде газопроводов, электрических сетей, водопроводов создает реальные

угрозы жизни и здоровью населения нашей страны, а катастрофы с гибелью людей не стали редкостью. Снизилось и качество геодезических изысканий, а сроки выполнения работ – возросли.

Заключение

В конце отметим, что все проблемы в координатном обеспечении градостроительной деятельности взаимозависимы, взаимообусловлены, взаимосвязаны. Настало время, когда возникла объективная необходимость переосмысления роли и места координатного обеспечения в градостроительной деятельности, видов представления материалом и требований к ним, понимания места цифровизации и оценке труда изыскателей. Без системного анализа состояния и проблем отрасли, появления принципиально новых идей и подходов, интеграции усилий государственных структур в создании материальной базы геодезического приборостроения, координатное обеспечение, как и инженерные изыскания в целом, обречены на хроническое отставание как от мирового прогресса в данной отрасли, так и требований градостроительной деятельности. Сегодня уже много строят представители зарубежья, завтра будут производить и инженерные изыскания.

Литература

1 Градостроительный кодекс Российской Федерации от 29.12.2004 № 190-ФЗ (ред. от 02.07.2021) (с изм. и доп., вступ. в силу с 01.10.2021).

2 Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и служащих в 2021 году.

3 Инструкция по съемке и составлению планов подземных коммуникаций (утв. ГУ геодезии и картографии при Совете Министров СССР). – М.: Недра, 1978. – 46 с.

4 Инструкция по топографической съемке в масштабах 1:5000, 1:2000, 1:1000 и 1:500 (утв. Главным управлением геодезии и картографии при Совете Министров СССР). – Москва: Недра, 1978. – 148 с.

5 Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов (утв. Руководителем Федеральной службы геодезии и картографии России). – Москва: ЦНИИГИК, 2002. – 101 с.

6 Налоговый Кодекс Российской Федерации (часть первая) от 31.07.1998 №146-ФЗ (ред. от 02.07.2021).

7 О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации: Федеральный закон от 30.12.2015 № 431-ФЗ (ред. от 11.06.2021).

8 О техническом регулировании: Федеральный закон от 27.12.2002 № 184-ФЗ (ред. от 01.01.2021).

9 Постановление Госстроя России от 23.12.2003 № 213 «Об утверждении Справочника базовых цен на инженерные изыскания для строительства "Инженерно-геодезические изыскания"» (документ не применяется в связи с отказом в госрегистрации Министерства юстиции Российской Федерации, Письмо Минюста Российской Федерации от 07.10.2004 № 07/9474-ЮД).

10 Постановление Правительства Российской Федерации от 19.01.2006 № 20

«Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства».

11 Постановление Правительства Российской Федерации от 18.11.2013 № 1038 (ред. от 13.05.2021) «О Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации» (с «Положением о Министерстве строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации»).

12 Постановление Правительства Российской Федерации от 15.09.2020 № 1431 «Об утверждении Правил формирования и ведения информационной модели объекта капитального строительства, состава сведений, документов и материалов, включаемых в информационную модель объекта капитального строительства ...».

13 Приказ Росстандарта от 31.01.2014 № 14-ст (ред. от 16.06.2021) «О принятии и введении в действие Общероссийского классификатора видов экономической деятельности (ОКВЭД2) ОК 029-2014 (КДЕС Ред. 2) и Общероссийского классификатора продукции по видам экономической деятельности (ОКПД2) ОК 034-2014 (КПЕС 2008)».

14 СП 47.13330.2016. Инженерные изыскания для строительства: Основные положения. – Москва: Стандартинформ, 2017. – 90 с.

15 СП 317.1325800.2017. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Общие правила производства работ. – Москва: Стандартинформ, 2018. – 50 с.

Тарелкин Евгений Петрович – доктор технических наук, доцент, директор, Ассоциация «Изыскатели Санкт-Петербурга и Северо-Запада», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инженерно-геодезические изыскания для строительства; осуществление градостроительной и кадастровой деятельности.

E-mail: info@izisk.org

Никитин Александр Владимирович – кандидат технических наук, начальник научно-исследовательского отделения, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: применение радионавигационных систем и комплексов.

E-mail: nikaleks@inbox.ru

Ермолаев Сергей Валерьевич – заместитель генерального директора – заместитель генерального конструктора, АО «Российский институт радионавигации и времени», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: применение радионавигационных систем и комплексов.

E-mail: sergey.esv.spb@yandex.ru

ISSUES OF COORDINATE SUPPORT FOR URBAN PLANNING

In this paper, conceptual framework for engineering surveying and urban planning is considered. It is shown that the current legislation and regulatory basis for engineering surveying within urban planning comprises quite a number of clauses giving rise to contradictions and

leading the industry to an impasse. Under sanctions, technical provision of the industry with satellite aids becomes one of the most acute problems. The proposals within the draft Concept of coordinate support system improvement for urban planning have been couched.

Key words: coordinate support; engineering and geodetic surveying; geodetic and mapping works; engineering surveying materials and outcomes; implementation of urban planning and cadastral activity.

Tarelkin Evgeniy Petrovich – doctor of technical sciences, assistant professor, Director of Association self-regulatory organization “Saint-Petersburg and North-West surveyors”, Saint Petersburg city.

Area of scientific interests: engineering and geodetic surveying for construction; Implementation of urban planning and cadastral activity.

Nikitin Alexander Vladimirovich – candidate of technical sciences, Head of navigation modules and consumer equipment research department, JSC “Russian Institute of Radionavigation and Time“, Saint Petersburg city.

Area of scientific interests: radionavigation systems and complexes application.

Ermolaev Sergey Valerievich – Deputy general director – deputy general designer, JSC “Russian Institute of Radionavigation and Time“, Saint Petersburg city.

Area of scientific interests: radionavigation systems and complexes application.

УДК 005.572:004

ИТЕРАТИВНАЯ ОБРАБОТКА РАДИОСИГНАЛЬНОГО ЦИФРОВОГО ПОТОКА

Геворкян А.Г., Перов Д.А., Писарев С.Б.

Статья посвящена описанию этапов формирования алгоритмов и практических примеров применения обработки сигналов во временной области; определены пути развития способов обработки на основе итеративной процедуры корректировки параметров избирательных каналов обработки.

Ключевые слова: канал обработки; итеративное обнаружение сигнала; измерение параметров.

Введение

Современная промышленная цивилизация опирается на технологический фундамент, включающий научные основы вековой давности.

На заре формирования радиосвязи в двадцатые годы прошлого столетия Гарри Найквист экспериментально обнаружил, что повышение частоты следования импульсов по каналу электросвязи приводит к снижению качества приема, заложив основы теоретического положения об ограничении числа независимых импульсов, которые могут быть переданы в единицу времени без искажений, двойной шириной частотного диапазона канала связи, названной впоследствии в его честь.

Развивая данное направление в 1928 году Ральф Винтон Лайон Хартли сформулировал закон: «общий объем информации, которая может быть передана по каналу, пропорционален его частотному диапазону и времени передачи».

Владимир Александрович Котельников в 1933 году доказал, что любую функцию, состоящую из частот от 0 до F , можно непрерывно передавать с любой точностью при помощи чисел, следующих друг за другом менее чем через $1/(2F)$ секунд.

В середине сороковых Клод Элвуд Шеннон опубликовал работу «Теория связи в секретных системах», повторно опубликованную в рассекреченном виде в 1949 году, которая послужила началом обширных исследований в теории кодирования, шифрования и передачи информации. Именно тогда был придуман наш цифровой мир, до создания которого оставались еще десятилетия по причинам отсутствия технологических возможностей реализации теории.

В 1956 году Уильям Шокли, Уолтер Браттейн и Джон Бардин были награждены Нобелевской премией по физике «за исследования полупроводников и открытие транзисторного эффекта». Через два года появилась первая микросхема и через двадцать лет непрерывного развития микроэлектроника стала существенной частью не только профессиональной, но и бытовой техники.

В 90-е годы мобильная связь становится массовой, развитие цифровых каналов связи способствует расширению возможностей персональных телекоммуникационных возможностей и приводит к новым явлениям, названным Николасом Негропonte в 1995 году «цифровой экономикой», в которой «оперируют битами вместо атомов».

1 Противоречия цифрового настоящего

В уже ставшем привычным цифровом мире локальные состояния вещества (рисунок 1) имеют потребительскую ценность наряду с вещественными объектами. Прилагательное «цифровой» стало синонимом современности.

Революционные изменения в информационной сфере уверенно соседствуют с научными методами середины прошлого века, когда основным инструментом исследователя и разработчика являлись бумага и карандаш [1-5]. Современные возможности создания цифровых моделей объектов исследования не всегда используется в полной мере. Например, зачастую, рассчитанная диаграмма направленности антенной системы (рисунок 2) в дальнейших расчетах представляется только традиционным вектором характеристик, хотя в ряде областей техники новые возможности активно используются, например, в светотехнике фотометрическое тело светильника у ряда производителей стало элементом его описания в виде *LED*-файла.

В ряде случаев цифровые технологии используются для реализации классических аналоговых методов без учета специфики их разработки и границ применимости, упуская возможности совершенствования, даваемые новыми технологиями.

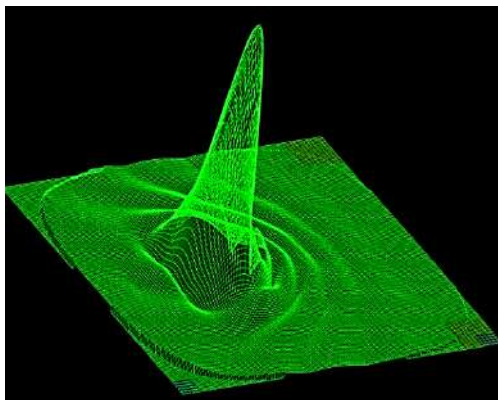


Рисунок 2 – Модель диаграммы направленности антенной системы

можно рассматривать как устройство распознавания входного воздействия при решении задач верификации, классификации, кластеризации или измерения и формирования выходных данных о виде и параметрах воздействия.

В силу того, что данные на вход обработчика поступают дискретно с интервалом t_d , обработка потока должна быть организована с учетом такой порционности. В

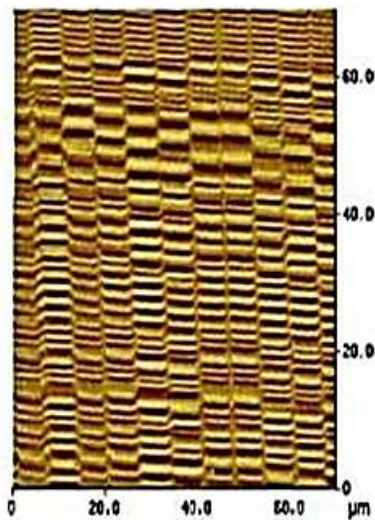


Рисунок 1 – МСМ-изображение поверхности диска

В системах обнаружения и обработки сигналов традиционными являются две группы методов, основанных на одновременном и последовательном поиске, реализуемых набором фильтров с фиксированными параметрами или фильтром с переменными характеристиками соответственно (при этом под фильтром в расширенной трактовке понимается избирательное по некоторому параметру сигнала устройство).

Рассматривая приемник (рисунок 3) как преобразователь аналогового входного электрического или электромагнитного воздействия в битовый поток, обработчик мож-

зависимости от предъявляемых требований и ряда технических факторов обработка может осуществляться так, что результат формируется за время $t_{обр} \leq t_d$.

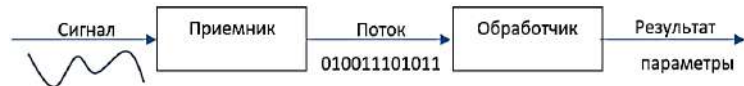


Рисунок 3 – Модель цифрового радиомодуля

Растущие вычислительные возможности позволяют

прогнозировать наличие ситуации $t_{обр} \ll t_d$, что при отсутствии жестких ограничений на оперативность принятия решения позволяет избыточный ресурс конвертировать в качество результата за счет итеративности обработки входных данных в соответствии с принципом, иллюстрируемым рисунком 4.

Таким образом, достигнутый уровень развития цифровой техники позволяет выделить в качестве самостоятельного направления исследований разработку радиоматематических способов итеративной обработки сигналов, развитие которых должно способствовать формированию теоретического базиса для создания инструментария цифровой обработки сигналов, оптимизированной к конкретным условиям применения и предъявляемым пользователем требованиям.

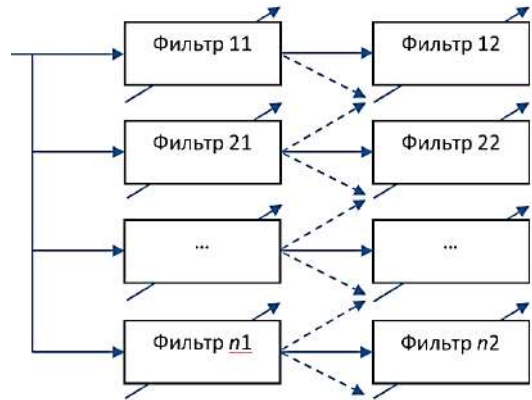


Рисунок 4 – Схема адаптивного радиомодуля

2 Подходы к формированию оценок

На практике, как правило, обработка входного процесса в пределах интервала приема сводится к формированию корреляционных сумм (корреляционных интегралов) для каждого канала или к согласованной фильтрации входного процесса. При этом опорная функция коррелятора и весовая функция согласованного фильтра полностью определяются функцией модуляции известного сигнала (зондирующего или информационной посылки) и постоянны в пределах интервала приема. Указанная обработка, являясь оптимальной в отсутствие мешающих отражений, дает весьма плохие результаты при наличии последних (особенно в случае моностатических РЛС и большом различии в уровнях полезного и мешающих сигналов).

В качестве одного из путей поиска новых технических и алгоритмических решений возможно рассмотреть корректировку опорной функции или импульсной характеристики в итеративном процессе обработки входного воздействия.

Наработанные инструменты оптимального обнаружения сигнала построены на принципе сравнения принятого сигнала с эталоном. В ходе развития такого подхода в основе лежал способ, основанный на использовании идентичных генераторов на передающей и приемной стороне, что обеспечивало успешное решение задачи в идеализированном варианте при достаточной простоте реализации. Оптимизация качества обнаружения осуществляется за счет синхронизации и синтонизации принятого сигнала с опорным колебанием путем многоканальности или подбором параметров одного канала.

На практике принимаемый сигнал отличается от излученного вследствие влияния нелинейностей радиотрактов, среды распространения и многолучевости, что снижает адекватность применяемой идеализированной модели реальным условиям.

Кроме того, детальное рассмотрение процедуры вычисления корреляционного интеграла позволяет констатировать, что вклад суммируемых элементов в итоговое значение не является одинаковым. При этом сумма

$$K = s_1(s'_1 + \xi_1) + s_2(s'_2 + \xi_2) + \dots + s_n(s'_n + \xi_n),$$

где s_1 – опорная функция,

$s'_1 + \xi_1$ – поступившая сигнально-шумовая сумма,

представляет собой сумму случайных величин, описываемых распределениями продукта (с ограничением, что последовательность \widehat{s}_i является цепью Маркова). Распределения \widehat{s}_i и $\widehat{s}_i \widehat{s}'_i$ имеют вид, близкий по форме к бимодальному распределению Радемахера, что приводит к обострению закона распределения $\widehat{s}_i \widehat{\xi}_i$. Предобработка потоков указанных продуктов позволяет варьировать параметры результирующего сложения. Доступность таких операций при использовании цифровых методов позволяет исследовать возможности итеративных преобразований промежуточных результатов обработки во временной области в направлении поиска новых эффектов, способствующих повышению результативности выполняемых процедур.

Заключение

Использование технологий обработки потоков цифровых данных позволяет провести глубокий анализ обработки сигналов на основе итеративных процедур. Приведенные примеры не только наглядно демонстрируют, как эффективно использовать цифровые технологии, но и служат основой для прогнозирования динамики их развития. Таким образом, цифровые технологии при итеративной обработке сигналов во временной области открывают новые направления развития радиотехнических способов обработки сигналов.

Литература

1 Ширман Я.Д. Разрешение и сжатие сигналов. – М.: Советское радио, 1974. – 360 с.

2 Ширман Я.Д., Манжос В.Н. Теория и техника обработки радиолокационной информации на фоне помех. – М.: Радио и связь, 1981. – 416 с.

3 Абрамович Ю.И. Компенсационные методы разрешения широкополосных сигналов // Радиотехника и электроника. – 1978. – т. XXIII, №1. – С.14-21.

4 Рабинер Л., Гоулд Б. Теория и применение цифровой обработки сигналов. – М.: Мир, 1978. – 846 с.

5 Скольник М. Справочник по радиолокации. Том 1. Основы радиолокации. – М.: Сов. радио, 1976. – 456 с.

Геворкян Арвид Грайрович – доктор технических наук, профессор, АО «Обуховский
100

завод», г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: квантовые стандарты частоты и времени.

Email: nos.rnv@goz.ru

Перов Денис Алексеевич – соискатель, АО «Концерн ВКО «Алмаз – Антей»», г.Москва.

Область научных интересов: радиолокация, обработка сигналов.

Email: d.perov@almaz-antey.ru

Писарев Сергей Борисович – доктор технических наук, профессор, АО «Обуховский завод», г. Санкт-Петербург.

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

Email: s.pisarev@goz.ru

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

APPLICATION OF DIGITAL TECHNOLOGIES IN ITERATIVE SIGNAL PROCESSING IN THE TIME DOMAIN

The article is devoted to a description of the stages of the formation of digital technologies and practical examples of the application of signal processing in the time domain; directions for the development of processing methods are determined based on the iterative procedure for adjusting the reference function or impulse response of selective processing channels.

Key words: digital data, processing channel, signal detection, parameter measurement.

Gevorkyan Arvid Grayrovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor, Scientific and Educational Center of Obukhov Plant JSC, St. Petersburg.

Research interests: quantum standards of frequency and time.

Perov Denis Alekseevich - applicant, JSC "Concern VKO "Almaz - Antey"", Moscow.

Area of scientific interests: radar, signal processing.

Pisarev Sergey Borisovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, JSC “Obukhov Plant”, St. Petersburg.

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

УДК 621.37:519.21

АЛГОРИТМ ИНТЕГРАЦИИ ИНЕРЦИАЛЬНОГО НАВИГАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА С СИСТЕМОЙ СПУТНИКОВОЙ НАВИГАЦИИ

Нестерович А.В., Яковлев В.Т.

В данной статье приведена разработанная математическая модель алгоритма интеграции спутниковой навигационной системы с инерциальной навигационной системой. Приведен вариант использования выведенного метода для увеличения точности определения координат в работе навигационных комплексов и систем.

Ключевые слова: спутниковая навигационная система (СНС); бесплатформенная инерциальная навигационная система (БИНС); комплексирование навигационных данных для более точной оценки координат.

Введение

Автономный метод навигации, основанный на информации, полученной на борту объекта от акселерометров, гироскопов и часов, называется инерциальной навигационной системой (ИНС). ИНС представляют собой инерциальные системы счисления пути, имеющие общий недостаток – увеличение погрешности пропорционально времени. Обработка данных с датчиков в реальном масштабе времени требует производительный вычислитель с матричной математикой, что также является недостатком ИНС.

Электромеханические датчики, которые используются в бесплатформенной инерциальной навигационной системе (БИНС), имеют низкий класс точности. Достоинствами таких датчиков являются простота и дешевизна конструкции, надёжность, низкое потребление энергии и доступность. Объединение разноориентированных датчиков в систему позволяет увеличить точность определения данных.

Задача состоит в повышении точности БИНС путем усложнения обработки информации, полученной от системы датчиков угловых скоростей (ДУС) и датчиков кажущихся ускорений (ДКУ).

В рассматриваемом методе устранение погрешностей измерений устраняется комплексированием данных БИНС со спутниковой навигационной системой, барометрическим высотомером и магнитометром.

Результатом работы является модель БИНС, позволяющая оценить параметры совместной обработки координат БИНС и СНС для уменьшения ошибок в навигации ЛА в автономном режиме с использованием МЭМС-датчиков низкого класса точности.

1 Постановка задачи

В типичной навигационной системе акселерометр и гироскоп работают с относительно высокой частотой дискретизации, СНС работает с относительно низкой частотой дискретизации. Также можно отметить разный характер ошибок измерений координат от СНС и БИНС.

Точность оценки координат ЛА в БИНС зависит от множества параметров:

- измерений датчиков ускорений и датчиков угловых скоростей;
- калибровки датчиков;
- установки начальных значений;
- выборки времени;
- алгоритмов интегрирования.

Точность измерения координат СНС зависит от внешних факторов:

- необходимости приёма сигнала от спутниковой группировки;
- фактора расположения спутников относительно ЛА;
- качества исполнения спутникового приемника;
- характера помех.

БИНС может работать автономно, но ошибка накапливается со временем, в свою очередь СНС не накапливает ошибок, но требует видимости спутников.

Для упрощения модели будем рассматривать движение в декартовой системе, без пересчета географических координат (широта, долгота, высота) и учета вращения Земли. Примем, что ошибки измерения координат по осям XYZ независимы и соответствуют нормальному распределению. В данной статье ограничимся рассмотрением выходных данных БИНС и СНС.

Будем рассматривать ошибки определения координат ЛА СНС и БИНС со своими дисперсиями с нормальным законом распределения.

В общем случае можно записать вектор измерений координат во времени

$$r(x, t) = f(x, t) + n(t), \quad (1)$$

где $r(x, t)$ – вектор измерений координат во времени;

$f(x, t)$ – истинная траектория ЛА, подлежащая определению;

$n(t)$ – вектор аддитивного шума с нулевым средним.

Представляют интерес следующие вопросы:

- моделирование выходных данных БИНС с ошибками измерений, накапливаемых со временем;
- методика обработки совместных данных от СНС и БИНС с разными дисперсиями и разным временем выборки.

2 Описание модели совместной обработки БИНС и СНС

В нашем случае выборки СНС обрабатываются с низкой скоростью, а выборки БИНС приводим к низкой скорости путем децимации. Берем в обработку выборки БИНС с частотой СНС. Хотя возможна и другая ситуация когда выборки СНС интерполируются к выборкам БИНС. При моделировании определяем частоту дискретизации: БИНС (акселерометр и гироскоп) дискретизируется с частотой 100 Гц, а СНС – с частотой от 1 до 10 Гц. Проверяем, что заданные частоты кратны целому числу. Ошибки измерения ускорения имеют случайный нормальный закон распределения с ненулевым средним и заданной дисперсией. Интегрирование измерений, распределенных по нормальному закону, приводит к винеровскому процессу. Если проинтегрируем винеровский процесс, то получаем стохастический интеграл Винера. Для вычисления оценки дисперсии БИНС во времени, воспользуемся мерой Лебега

$$E(W_\sigma(t)) = 2\pi\sigma t + 4\sigma^2\sqrt{2\pi t} + 4\pi\sigma^3/3, \quad (2)$$

где $E(W_\sigma(t))$ – математическое ожидание ошибки;

σ – средняя квадратичная ошибка измерения;

t – текущее время.

Задаем параметры траектории: центральную точку, радиус движения, скорость, угловую ориентацию. Определяем общее время моделирования, с частотой выборки БИНС и рассчитываем траекторию. Формируются два процесса измерений координат с заданными ошибками и выборками по времени, которые являются входными модельными данными для весовой обработки.

3 Результаты моделирования

При скорости $V=2,5$ м/с, общем времени наблюдения $t=300$ с, сигмой ошибки

БИНС $\sigma_{imu}=0,01 \text{ м/с}^2$, сигмой ошибки СНС $\sigma_{gps}=3 \text{ м}$ и прямолинейном движении по координате X получаем результаты моделирования представленные на рисунке 1.

На верхнем графике рисунка 1 представлены треки движения в координатах x,y :

- синий цвет – трек БИНС;
- красный цвет – трек реальный без ошибок;
- зеленый цвет – трек от СНС;
- серые квадратики – децимированные отсчеты БИНС.

На нижнем графике рисунка 1 представлены ошибки оценки координат во времени:

- синий цвет – ошибки СНС;
- красный цвет – ошибки БИНС;
- зеленый цвет – ошибки комплексированные.

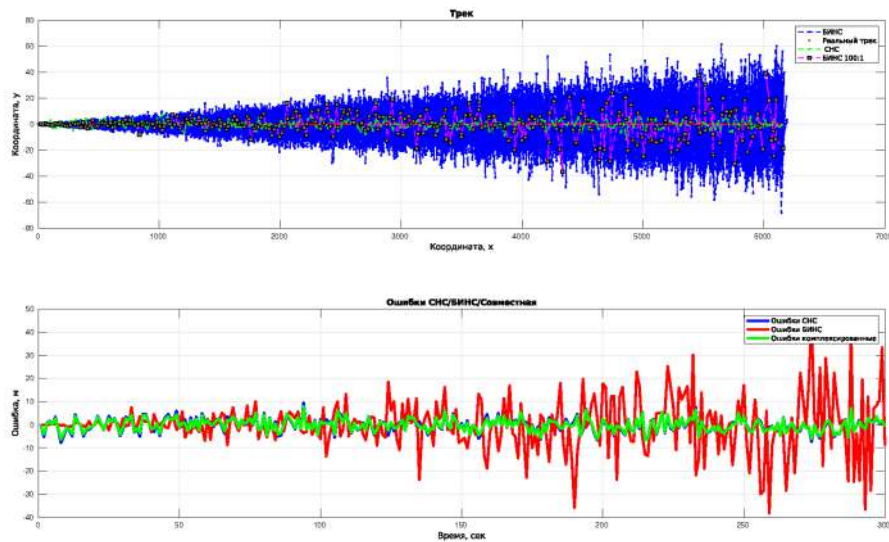


Рисунок 1 – Движение прямолинейное по координате X

Начальные данные не менялись. Результаты моделирования оценки координат прямолинейного движения по координате x,y представлены на рисунке 2.

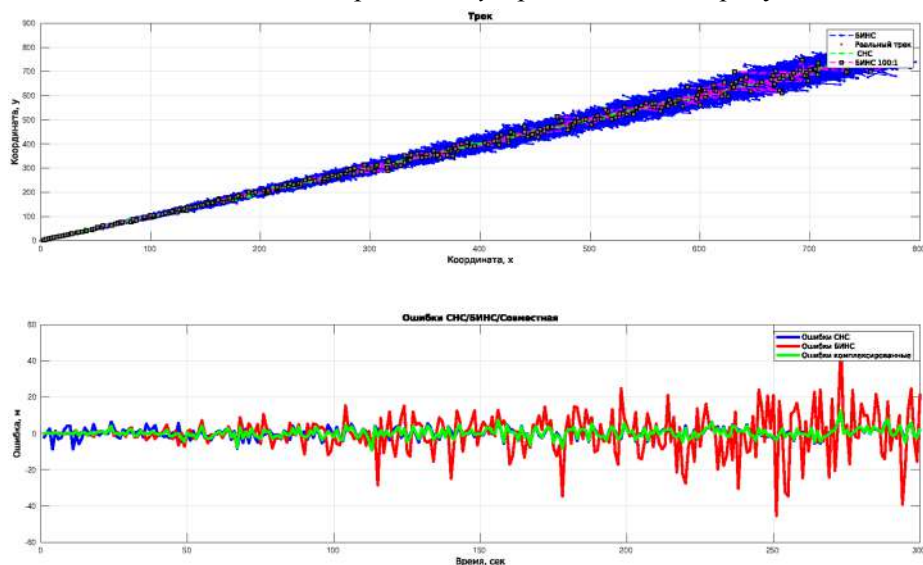


Рисунок 2 – Движение прямолинейное по координате X,Y

Начальные данные не менялись. Движение по прямой с коррекцией через каждые 100 с представлены на рисунке 3.

На графиках, представленных на рисунках 1-3, наглядно показан результат работы алгоритма объединения измерений:

- синий график ошибки СНС;
- красный график ошибки БИНС;
- зеленый график – совместная обработка СНС и БИНС.

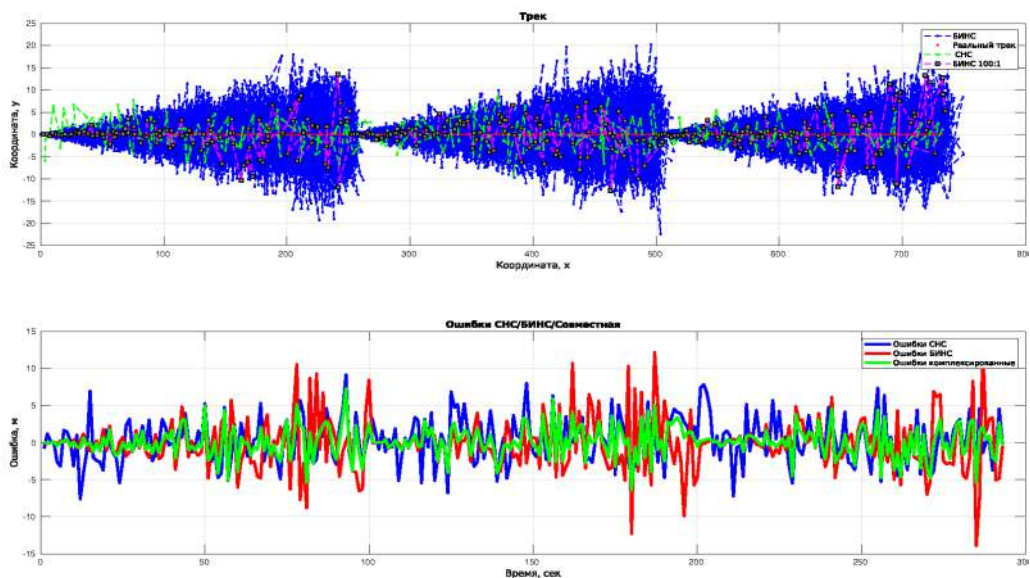


Рисунок 3 – Движение по прямой с коррекцией через каждые 100 с

Заключение

Промоделированы выходные данные БИНС с ошибками измерений, накапливаемых со временем. Предложена методика интеграции измерений координат от СНС и БИНС с разными дисперсиями и разным временем выборки.

При скорости $V=2,5$ м/с, общем времени наблюдения $t=300$ с, сигмой ошибки БИНС $\sigma_{imu}=0,01$ м/с², сигмой ошибки СНС $\sigma_{gps}=3$ м и прямолинейном движении по координате X получаем результаты моделирования представленные на рисунке 1.

Убедились, что предложенная методика весовой обработки позволяет на выходе обрабатываемых данных получить уменьшение дисперсии. При заданных параметрах $\sigma_{imu}=0,01$ м/с², имеем через 100 с ошибку порядка 5 м, что уже превышает заданную в модели ошибку СНС 3 м. При проведении корректировки через каждые 100 с можно наблюдать картину, представленную на рисунке 3.

Можно отметить, что предложенный шаг обработки позволяет улучшить оценку координат СНС и открывает возможность получения координат без привязки к спутниковому приемнику в эти интервалы времени.

Литература

1 Ван Трис Г. Теория обнаружения оценок и модуляции. – Москва: Советское радио, 1972. – 744 с.

2 Zekavat S.A., Buehrer R. Michael, Handbook of Position Location. Theory, Practice, and Advances. – Second edition. IEEE Press, Wiley.

3 Матвеев В.В., Распопов В.Я. Основы построения бесплатформенных инерциальных навигационных систем. – СПб: ГНЦ РФ ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор», 2009.

Яковлев Виктор Тимофеевич – доктор технических наук, АО «Обуховский завод», г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигация, радиолокация.

Email: nos.rnv@goz.ru

Нестерович Андрей Владимирович – аспирант, АО «Обуховский завод», г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: радионавигация, радиолокация.

Email: nos.rnv@goz.ru

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

THE ALGORITHM OF INTEGRATION THE NAVIGATION SYSTEM WITH THE INERTIAL SATELLITE NAVIGATION SYSTEM

This article presents the developed mathematical model of the algorithm for integrating a satellite navigation system with an inertial navigation system. A variant of using the derived method to increase the accuracy of determining coordinates in the operation of navigation systems.

Keywords: satellite navigation system (SNS); free-form inertial navigation system (BINS); integration of navigation data for a more accurate assessment of coordinates.

Yakovlev Victor Timofeevich – Doctor of Technical Sciences, JSC «Obukhov Plant», St. Petersburg.

Research interests: radio navigation, radiolocation.

Nesterovich Andrey Vladimirovich – postgraduate student, JSC «Obukhov Plant», St. Petersburg.

Research interests: radio navigation, radiolocation.

УДК 629.7.016.2

ОБНАРУЖЕНИЕ СПУФИНГА АЗН-В НА ПОВЕРХНОСТИ АЭРОДРОМА С ПОМОЩЬЮ ДВУХ ПРИЕМНЫХ СТАНЦИЙ АЗН-В

Копосов А.В., Давиденко В.Ю., Шайдуров И.Г.

Представлена методика обнаружения спуфинга при помощи двух приемных станций АЗН-В. Целью работы является разработка методики, которая обеспечит возможность использования АЗН-В как единственного средства наблюдения на аэродроме. На данный момент станции АЗН-В не допускается использовать в качестве самостоятельного средства наблюдения из-за проблем, связанных с возможностью искажения сигнала или же внесения заведомо ложной информации в сообщения, поэтому эксплуатация данного вида станций возможна только совместно с МПСН или ВРЛ, что увеличивает стоимость организации наблюдения на летном поле. Таким образом, актуальность работы связана с необходимостью поиска альтернативной методики подтверждения достоверности сообщения АЗН-В.

Ключевые слова: Автоматическое зависимое наблюдение – вещательного типа, АЗН-В, подтверждение, спуфинг, гипербола, разница времени.

Введение

Одним из главных аспектов, влияющих на авиацию, является безопасность полетов. В современном мире наблюдается тенденция развития авиационной отрасли и всех входящих в ее состав направлений ввиду нарастающей интенсивности выполнения полетов. В связи с этим появляется необходимость совершенствовать уже существующие системы.

Одним из основных документов, основываясь на котором можно судить о необходимости развития и совершенствования глобальной системы гражданской авиации, является Глобальный аэронавигационный план ИКАО (ГАНП) [1].

Существует множество областей, развитие которых, согласно ГАНП, необходимо для обеспечения безопасности, эффективности и регулярности выполнения полетов. Одним из них является авиационное наблюдение.

Согласно национальной документации, основными средствами авиационного наблюдения являются: обзорные радиолокаторы трассовые и аэродромные, вторичные радиолокаторы (ВРЛ), посадочные радиолокаторы, радиолокационные станции обзора летного поля, автоматические радиопеленгаторы, оборудование видеонаблюдения, многопозиционные системы наблюдения аэродромные и широкозонные (МПСН-А и МПСН-Ш), а также наземные станции автоматического зависимого наблюдения контрактного и вещательного типа (АЗН-К и АЗН-В) [2].

В настоящее время, перспективными средствами авиационного наблюдения считают МПСН, а также АЗН-В. Каждая из систем обладает рядом преимуществ и недостатков. В данной статье рассматривается применение системы АЗН-В, так как в настоящее время ее использование в качестве самостоятельного средства не допуска-

ется, а предложенная методика позволит реализовать потенциал системы и целесообразность ее применения в районе аэродрома.

Система АЗН-В имеет ряд преимуществ, таких как: возможность установки станций в сложно-доступных районах, невысокая стоимость оборудования, высокая точность.

Помимо преимуществ есть недостатки, связанные с подтверждением достоверности сообщений. Из-за возможности внесения ложной информации – спуфинга, получаемые от станций сообщения необходимо подтверждать с помощью МПСН или ВРЛ. Спуфинг – это любая форма обмана для получения выгоды. Данное понятие в основном относится к кибер-преступности, злоумышленник маскирует себя, путем подмены информации. Одним из видов спуфинга, которым может подвергаться системы АЗН-В, является GPS-спуфинг – вид атаки, которая происходит для обмана GPS-приемника, и при этом передаются поддельные сигналы, которые очень схожи с настоящими..

В данной статье предложена методика по борьбе со спуфингом, когда передаются поддельные сигналы, чем-то схожие с настоящими.

В связи с этим, актуальность данной работы обуславливается необходимостью поиска альтернативной методики подтверждения достоверности сообщений АЗН-В, помимо установки дополнительного средства наблюдения. Также необходимо получить возможность выявления недостоверных сообщений, которые, в свою очередь, непосредственно влияют на безопасность выполнения полетов.

Данный вопрос ставился в работах [3-6], в результате были предложены методы и методики подтверждения данных АЗН-В для полетов на эшелоне, в районе аэродрома и наземного движения.

Рассматриваемая методика основана на разностно-дальномерном подходе. Следует отметить низкую стоимость оборудования станций АЗН-В в сравнении с аналогами, которые можно использовать для наблюдения. Данная методика позволяет использовать станции АЗН-В без дополнительной информации от независимого источника, такого как МПСН или ВРЛ.

1 Материалы и методы

1.1 Гипербола и ее свойства

Гипербола – кривая второго порядка, определяемая как геометрическое место точек плоскости, разность расстояний которых от двух заданных точек, называемых фокусами, есть величина постоянная.

Для вывода канонического уравнения гиперболы, необходимого для реализации методики, воспользуемся системой координат, представляющей собой прямоугольную систему координат, состоящей из оси абсцисс, проведенной через фокусы F_1 и F_2 , и оси ординат – выбранной перпендикулярно оси абсцисс через середину расстояния между фокусами. Обозначим через $2d$ расстояние между фокусами, которое больше, чем разность расстояний до фокусов от произвольной точки. Введем обозначение для мнимой полуоси b , согласно которому

$$b^2 = d^2 - a^2,$$

где d – половина расстояния между фокусами,

a – половина разности расстояний от произвольной точки до фокусов.

Для нахождения половины разности расстояний от произвольной точки до фокусов необходимо воспользоваться формулой

$$a = \frac{r_2 - r_1}{2},$$

где r_i – расстояние от i -го фокуса до произвольной точки.

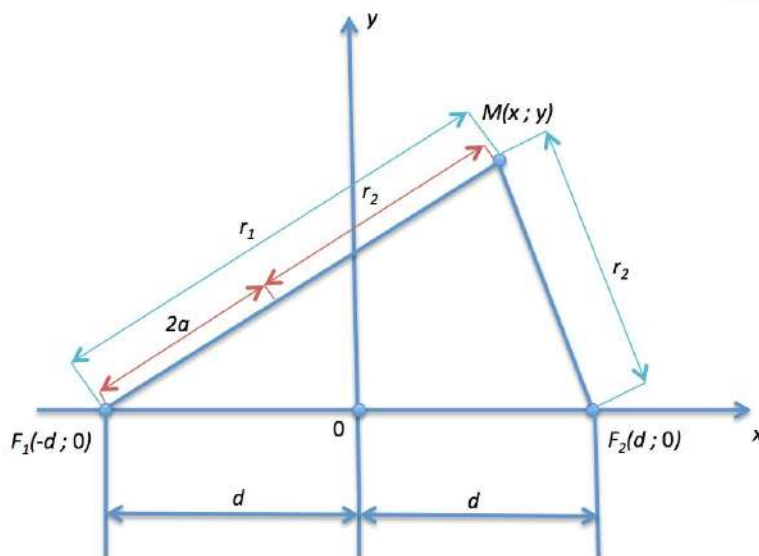


Рисунок 1 – Построение гиперболы

Для получения канонического уравнения гиперболы, выберем произвольную точку и получим для нее следующие математические выражения [8]:

$$r_1 = \sqrt{(x - d)^2 + y^2}, \quad r_2 = \sqrt{(x + d)^2 + y^2}$$

$$\begin{cases} r_2 - r_1 = 2a \\ r_2^2 - r_1^2 = 4dx \end{cases}, \quad \begin{cases} r_2 + r_1 = 2\frac{d}{a}x \\ r_2 - r_1 = 2a \end{cases}, \quad \begin{cases} r_1 = \frac{d}{a}x - a \\ r_2 = \frac{d}{a}x + a \end{cases}$$

Таким образом:

$$(x + d)^2 + y^2 = \left(\frac{d}{a}x + a\right)^2,$$

$$x^2 + 2dx + d^2 + y^2 = \frac{d^2}{a^2}x^2 + 2dx + a^2,$$

$$\left(\frac{d^2}{a^2} - 1\right)x^2 - y^2 = d^2 - a^2.$$

Упростив, получим каноническое уравнение гиперболы

$$\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} = 1. \quad (1)$$

Рассмотрим его применение в рамках методики. На рисунке 2 задана система координат, учитывающая взаимное расположение наземных станций, а также воздушного судна, относительно которых возможно применять полученное ранее каноническое уравнение гиперболы. Наземные станции располагаются на оси абсцисс и их места установки являются фокусами гиперболы. Воздушное судно находится в произвольной точке, относящейся к гиперболе.

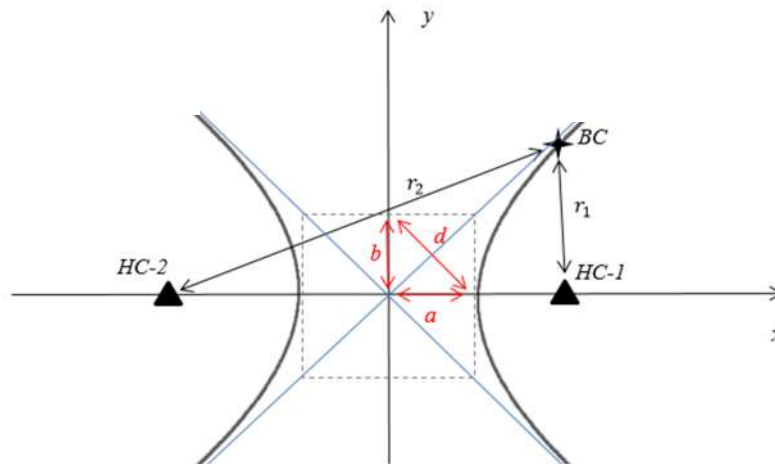


Рисунок 2 – Гипербола вероятного местоположения ВС

По определению, одним из свойств гиперболы является то, что разность расстояний от фокусов до гиперболы есть величина постоянная

$$\Delta r = r_2 - r_1 = const,$$

где r_1, r_2 – расстояния от воздушного судна до фокусов;
 Δr – разность расстояний.

Далее необходимо найти коэффициенты, необходимые для построения гиперболы, используя полученное ранее каноническое уравнение гиперболы (1):

$$d = \frac{\sqrt{(x_{нс2} - x_{нс1})^2 + (y_{нс2} - y_{нс1})^2}}{2} \quad (2)$$

$$a = \frac{\Delta r}{2} \quad (3)$$

$$b = \sqrt{d^2 - a^2}, \quad (4)$$

где d – полуфокусное расстояние;
 a – действительная полуось;
 b – мнимая полуось;
 $x_{нс2}, x_{нс1}, y_{нс2}, y_{нс1}$ – координаты станций.

1.2 Разностно-дальномерный метод

Самыми известными системами применяющими разностно-дальномерный метод определения координат в гражданской авиации, являются «Омега» за рубежом и «Альфа» в России. Дальнейшее развитие данных систем получило в системах «Loran-C» и «Чайка». На данный момент станции Loran-C не используются в гражданской авиации. Принцип действия данных систем основан на измерении разности расстояний от объекта до приемных станций.

Для реализации разностно-дальномерного метода необходимым средством является передатчик, установленный на борту ВС, который будет создавать сигнал и через антенну системы излучать его в пространство. Для приема и обработки переданного с борта ВС сигнала, на земле должны быть установлены станции, способные принимать и обрабатывать принятый сигнал для получения информации о местоположении ВС. Обязательным условием, важным для способности получения точной информации, является временная синхронизация всех наземных станций.

Преимуществами данного метода являются высокая точность определения местоположения объекта и малая задержка передачи сигнала. Недостатки связаны с синхронизацией станций. Согласно Doc.9924 Руководство по авиационному наблюдению, существует возможность устранить данный недостаток, связанный с временной синхронизацией, путем синхронизации времени при помощи атомных часов спутниковой навигационной системы или же выбором опорной станции, относительно которой будет происходить дальнейшая настройка всех остальных наземных станций [10].

Таким образом, в рамках методики используется разностно-дальномерный метод, учитывающий разность прихода, излученного воздушным судном сигнала на приёмные наземные станции АЗН-В.

Благодаря тому, что координаты наземных станций известны, появляется возможность получения значения разности расстояний, что, в свою очередь, даёт возможность применить математический аппарат, основывающийся на построении гиперболы

На рисунке 3 показано, как работает разностно-дальномерный метод. Сигналы принимаются на станциях, на основе принятого сигнала строится гипербола, так как можно найти разность расстояний. Известно, что в свободном пространстве радиосигнал распространяется с постоянной скоростью. При построении гиперболы учитывается время, необходимое сигналу для прохождения от воздушного судна до наземных станций АЗН-В:

$$r_1 = t_1 \times c, \quad (5)$$

$$r_2 = t_2 \times c, \quad (6)$$

$$\Delta r = r_2 - r_1, \quad (7)$$

где c – скорость света;

t_1 и t_2 – время, необходимое сигналу для прохождения расстояния от воздушного судна до наземных станций.



Рисунок 3 – Разностно-дальномерный метод

2 Методика обнаружения спуфинга

Для обнаружения спуфинга на аэродроме необходимы следующие данные:

Исходные данные:

- координаты станций АЗН-В ($\varphi_{нс1}, \lambda_{нс1}, \varphi_{нс2}, \lambda_{нс2}$)
- координаты, полученные с ВС, полученные при помощи ГНСС ($\varphi_{вс}, \lambda_{вс}$)
- время приема сообщения с ВС на обеих станциях АЗН-В (t_1, t_2).

Обнаружение спуфинга осуществляется следующим образом:

Пересчитывают координаты:

$$\begin{aligned}x &= f_x(\varphi, \lambda), \\y &= f_y(\varphi, \lambda), \\x'y' &= F(x, y).\end{aligned}$$

Также прямоугольную систему координат необходимо привести к середине базы между станциями, путем переноса и поворота системы координат.

Определяют фокусное расстояния гиперболы по данным, полученным с борта ВС на две станции АЗН-В. Так как известно, во сколько пришел сигнал на каждую из станций, можно вычислить

$$\Delta t = t_2 - t_1, \quad (8)$$

где t_1 – время приема сообщения с борта ВС на первой станции АЗН-В,
 t_2 – время приема сообщения с борта ВС на второй станции АЗН-В.

По разнице времени принятых сообщений находят разность расстояний

$$\Delta r = \Delta t \times c. \quad (9)$$

Зная, что станции размещены в фокусах гиперболы, находят коэффициенты a, b (см. рисунок 1). Для нахождения используют формулы (2-4).

На основе полученных коэффициентов составляют уравнение гиперболы (1).

При известных коэффициентах гиперболы, строят саму гиперболу, выражают из уравнения гиперболы либо x , либо y

$$y = b \times \sqrt{\left(\frac{x}{a}\right)^2 - 1}, \quad x = a \times \sqrt{\left(\frac{y}{b}\right)^2 + 1}.$$

Для нахождения точек, требуемых для построения гиперболы, удобнее выразить x . Также определяют минимально необходимое число точек гиперболы путем вычисления со стороны, равной расстоянию между станциями АЗН-В. Составляют таблицу из точек:

$$x_k = a \times \sqrt{\left(\frac{y_k}{b}\right)^2 + 1}.$$

После построения гиперболы находят минимальное расстояние между полученными координатами с ВС на станции АЗН-В и точками гиперболы

$$r_k = \sqrt{(x_{вс}^2 - x_k^2) + (y_{вс}^2 - y_k^2)}, \quad (10)$$

где $x_{вс}, y_{вс}$ – координаты ВС,
 x_k, y_k – координаты точек гиперболы.

Из полученного множества расстояний находят минимальное расстояние.

Для возможности определения достоверности сообщения введем такое понятие, как допустимое расстояние ($r_{доп.}$), которое необходимо для его дальнейшего сопоставления с полученным в ходе математического расчета расстоянием от воздушного суд-

на до гиперболы. Результаты сопоставления будут указывать на то, насколько точность определения местоположения будет соответствовать исходным требованиям. В данной работе, значение $r_{\text{доп.}}$ было выбрано исходя из сертификационных требований (БАЗИС) к широкозонным и аэродромным многопозиционным системам наблюдения. Из этих требований следует, что погрешность не должна превышать 7,5 м (с доверительным уровнем 95%) и 12 м (с доверительным уровнем 99%) для площади аэродрома, 20 м для зоны стоянки [10].

Если $r_{\text{min}} < r_{\text{доп.}}$, то сообщение достоверно. В противном случае сообщение не достоверно.

3 Результаты

Необходимо выполнить проверку методики обнаружения спуфинга путем подстановки исходных данных.

Дано:

$$x_{\text{нс1}} = 500 \text{ м}$$

$$y_{\text{нс1}} = 0 \text{ м}$$

$$x_{\text{нс2}} = -500 \text{ м}$$

$$y_{\text{нс2}} = 0 \text{ м}$$

$$x_{\text{вс}} = 100 \text{ м}$$

$$y_{\text{вс}} = 0 \text{ м}$$

$$t_1 = 0,000001333 \text{ с}$$

$$t_2 = 0,000002 \text{ с}$$

Так как координаты уже в прямоугольной системе координат, то перевод не нужен. Сразу начинаем считать со 2 пункта методики.

2. Находим разницу времени:

$$\Delta t = t_2 - t_1 = 0,000000667 \text{ с.}$$

3. Находим разницу расстояний:

$$\Delta r = \Delta t \times c = 0,000000667 \times 3 \times 10^8 = 200 \text{ м.}$$

4. Найдем коэффициенты гиперболы:

$$a = \frac{\Delta r}{2} = 100 \text{ м,}$$

$$d = \frac{\sqrt{(x_{\text{нс2}} - x_{\text{нс1}})^2 + (y_{\text{нс2}} - y_{\text{нс1}})^2}}{2} = 500 \text{ м,}$$

$$b = \sqrt{d^2 - a^2} = 489,8979 \text{ м.}$$

5. Получилось уравнение гиперболы

$$\frac{x^2}{100^2} - \frac{y^2}{489,8979^2} = 1.$$

6. Выражаем

$$x = \sqrt{100^2 + \frac{y^2 \times 100^2}{489,8979^2}} = 100 \times \sqrt{1 + \frac{y^2}{239999,9524}}.$$

Находим точки гиперболы. Для нахождения точек, требуемых для построения гиперболы, удобнее выразить x . Также определяют минимально необходимое количество точек гиперболы путем вычисления со стороны равной расстоянию между станциями АЗН-В. Составляют таблицу из точек. Необходимо задать интервал точек для значения y в зависимости от размеров летного поля для примера будем использовать интервал от -10 до 10 с шагом 1 м (см. таблицу 2).

7. Следующим шагом находим расстояние от каждой точки гиперболы до воздушного судна по формуле (10).

Получаем множество значений расстояний в таблице 2.

Из данного перечня расстояний находим минимальное значение, поэтому воспользуемся функцией в Microsoft Excel $r_{min} = \text{МИН}(r_k)$.

Из общего списка расстояний минимальное расстояние будет 0, а это означает, что ВС находится на гиперболе и сообщение достоверно. Значение 0 может получиться только в идеальной системе, в которой нет погрешностей, но в действительности необходимо учитывать различные виды погрешностей, которые влияют на точность расчетов места ВС.

Т а б л и ц а 2 – Точки гиперболы и расстояние до ВС

x_k	y_k	r_k
100,0208	-10	10,0000
100,0133	-8	8,0000
100,0075	-6	6,0000
100,0033	-4	4,0000
100,0008	-2	2,0000
100,0000	0	0,0000
100,0008	2	2,0000
100,0033	4	4,0000
100,0075	6	6,0000
100,0133	8	8,0000
100,0208	10	10,0000

4 Обсуждение

Проблема обнаружения спуфинга – актуальная задача, которая требует серьезного рассмотрения. Вопрос подтверждения данных АЗН-В является актуальным и исследуется разными учеными. В данной статье предложена методика обнаружения спуфинга, что является одним из шагов применения АЗН-В, как единственного средства наблюдения.

Методика обнаружения спуфинга отличается от аналогов тем, что с использованием разностно-дальномерного метода обеспечивается независимое измерение разности расстояния от наземных станций до ВС и обеспечивается подтверждение достоверности передаваемых в сообщении координат ВС. С практической точки зрения данная методика позволит использовать станции АЗН-В в качестве единственного средства наблюдения на аэродроме, что уменьшит стоимость наблюдения и увеличит кибербезопасность.

Разработанный в статье метод обнаружения спуфинга основан на использование разностно-дальномерного метода, координат ВС и станций АЗН-В. В основу методики заложен метод наблюдения, реализованный в МПСН. Но из-за того, что стоимость МПСН выше, чем стоимость АЗН-В, использование МПСН на аэродромах низкой интенсивности нецелесообразно.

Заключение

В статье предложена методика обнаружения спуфинга. Данная методика позволяет оценить достоверность сообщений АЗН-В и определить, является ли сообщение ложным. Предлагаемый метод дает возможность использовать станции АЗН-В без использования дополнительного оборудования, такого как МПСН или ВРЛ, а также позволяет использовать АЗН-В в качестве единственного источника информации наблюдения для усовершенствованной системы управления наземным движением и контроля за ним (А-SMGCS), тем самым повысив уровень безопасности движения ВС и эффективность работы аэропорта.

Литература

- 1 Глобальный аэронавигационный план, пятое издание ИКАО 2016–2030. Doc. 9750 AN/963, 2016.
- 2 Приказ Министерства транспорта Российской Федерации от 20 октября 2014 г. № 297 об утверждении Федеральных авиационных правил «Радиотехническое обеспечение полетов воздушных судов и авиационная электросвязь в гражданской авиации».
- 3 Плясовских А.П. Метод оценки достоверности информации АЗН-в в системе наблюдения и контроля аэродромного движения / А.П.Плясовских, Е.А.Рубцов // Вестник Санкт-Петербургского государственного университета гражданской авиации. – 2019. – № 3(24). – С.90-102.
- 4 Калининцев А.С. Подтверждение данных АЗН-В в аэродромной зоне методом стробирования / А.С.Калинцев, Е.А.Рубцов, А.П.Плясовских // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2021. – Т. 15, № 7. – С.39-49.
- 5 Плясовских А.П. Теоретическое обоснование подтверждения достоверности информации о местоположении объекта на рабочей площади аэродрома / А.П.Плясовских, Е.А.Рубцов // Т-Сотт: Телекоммуникации и транспорт. – 2020. – Т.14, № 3. – С.32-40.
- 6 Плясовских А.П. Подтверждение достоверности сообщения АЗН-В путем оценки высоты полета воздушного судна / Е.А.Рубцов, А.С.Калинцев, В.Ю.Давиденко // CREDE EXPERTO: Транспорт.
- 7 Плясовских А.П. Закон аберрации и его приложения в навигации и управлении воздушным движением. – М.: Знание-М, 2022. – 70 с.
- 8 Мышкис А.Д. Лекции по высшей математике: Учебное пособие. 6-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 688с.
- 9 Виленкин И.В., Гробер В.М. Высшая математика для студентов экономических, технических, естественно-научных специальностей вузов. – Ростов н/Д: Феникс, 2008. – 414 с.
- 10 Руководство по авиационному наблюдению. ИКАО, документ 9924 AN/474. – 2017. – 372 с.
- 11 Сертификационные требования (БАЗИС) к широкозонным и аэродромным многопозиционным системам наблюдения.

Копосов Артем Вадимович – аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы авиационного наблюдения и контроля движения на аэродроме.

Email: a.kop33@mail.ru

Давиденко Владислав Юрьевич – аспирант, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: системы авиационного наблюдения.

Email: david071521@mail.ru

Шайдунов Иван Георгиевич – кандидат технических наук, доцент, Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: имитационное моделирование транспортных процессов, цифровой двойник в транспортных системах, нестохастическое моделирование организационно-технических систем, разработка экспертных систем поддержки принятия решений на принципах трёхмерных матриц для решения слабоструктурированных и неструктурированных задач при управлении смешанными перевозками.

Email: shaydurov_ig@spbguga.ru

DETECTION OF ADS-B SPOOFING ON THE SURFACE OF THE AIRFIELD WITH THE HELP OF TWO STATIONS

The paper dedicated is to develop a methodology that will ensure the possibility of using the ADS-B as the only mean of observation at the airfield. At the moment, the stations of the ADS-B are not allowed to be used as an independent means of observation due to problems associated with the possibility of signal distortion or receiving false information. Therefore, this type of stations can only be used with the MLAT or Secondary radar, which increases the cost of organizing surveillance on the airfield.

Key words: ADS-B, validation, spoofing, Time difference of arrival, TDOA, hyperbole.

Koposov Artem Vadimovich - postgraduate student, St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg.

Research interests: airfield surveillance and control system

Davidenko Vladislav Yurievich - postgraduate student, St. Petersburg State University of Civil Aviation, St. Petersburg.

Research interests: aviation surveillance systems

Shaidurov Ivan Georgievich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Organization and Management in Transport Systems, St. Petersburg. St. Petersburg.

Research interests: Simulation modeling of transport processes, digital twin in transport systems, non-stochastic modeling of organizational and technical systems, development of expert systems of decision support on the principles of three-dimensional matrices for solving weakly structured and unstructured problems in the management of mixed transportation.

УДК 004:304

ЦИФРОВИЗАЦИЯ И ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ: ОТ ПРОИСХОЖДЕНИЯ ТЕРМИНА ДО ЕГО СОВРЕМЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ

Сайбель А.Г., Щеглов Д.К.

Статья посвящена ретроспективному анализу вопросов развития цифровых технологий и процесса цифровизации. Показано, что термин «цифровизация» не просто отражает использование цифровых технологий для сбора, обработки и хранения информации, а связан с появлением новых моделей бизнеса, товаров и услуг, которые стали высоко востребованы в условиях стремительного развития инфокоммуникационных систем и сетей.

Ключевые слова: цифровизация, цифровые технологии, цифровая экономика, цифровая трансформация, «цифра».

*Компьютер был рожден для решения проблем,
которых раньше не существовало.
Бил Гейтс*

Введение

В настоящее время термин «цифровизация» стал неотъемлемой частью нашего словарного запаса, а прилагательное «цифровой» сопровождает множество существительных, отмечая присутствие современных технологий в различных сферах жизни – от цифровых фотоаппаратов и типографий до цифровой трансформации, представителей большой цифры и даже цвета «цифра» [1]. В этой связи возникают вопросы о том, что подразумевается под этими терминами и какой смысл они несут.

Ответы на эти вопросы не столь просты, так как требуется внимательно рассмотреть разнообразные аспекты и учесть тонкости филологических определений и технических особенностей.

В 1995 году в экономической публикации Николаса Негропonte был представлен новый термин – «цифровая экономика» (также известная как веб-экономика, интернет-экономика или электронная экономика) [2]. Этот термин охватывает экономическую деятельность, осуществляемую с помощью электронных сетей (цифровых телекоммуникаций). Термин «цифровая экономика» тесно связан с электронным бизнесом и электронной коммерцией, а также с производством и продажей цифровых товаров и услуг. Экономические операции в цифровой экономике могут проводиться с использованием цифровой валюты, то есть электронных денег [3].

Однако не следует воспринимать цифровую экономику исключительно как массовое применение компьютерной техники или новых информационных технологий. Развитие информационно-телекоммуникационных сетей способствовало появлению новых товаров и услуг, что обусловило возникновение новой социально-экономической системы, в которой появилась возможность зарабатывать деньги со-

вершенно иными способами [4].

Автор термина «цифровая экономика» использовал метафору о переходе от обработки атомов к обработке битов [2]. На этом примере он продемонстрировал переход от классической экономики, где ценность товаров определяется их физическими характеристиками (весом, сырьем, транспортабельностью), к новой цифровой экономике с её уникальными преимуществами (виртуальностью, отсутствием веса у товаров, минимальным использованием сырья и возможностью мгновенного глобального перемещения). Это стало возможным благодаря широкому распространению и освоению цифровых сетей связи, предоставивших недоступную ранее скорость и качество передачи данных.

Проведем ретроспективный анализ вопросов, связанных с развитием и применением цифровых технологий, с целью более точного определения термина «цифровизация».

1 Формирование теоретического и общественного базисов цифровизации

Ещё в XIX веке человечество достигло значительных успехов в передаче сообщений на большие расстояния с помощью электричества по проводам. Один из примеров – телеграмма, которая представляла произвольное текстовое сообщение с помощью всего двух символов: точки и тире. В современной терминологии эти символы стали бы единицей и нулем. Однако на тот момент никто не задумывался о том, что такой процесс можно было бы охарактеризовать как «цифровизацию».

В начале XX века была создана промышленная технология беспроводного телеграфирования, которая позже стала известна как радиотелеграфия. Это послужило отправной точкой для бурного развития радиосвязи, которая предоставила людям возможность общения на значительных расстояниях через письменную и устную формы связи. Важным достижением в этой области стала радиотрансляция, которая позволила доносить информацию до множества слушателей, образуемого неопределенным кругом лиц.

Развитие технических решений, позволяющих селективно принимать сигналы на различных частотах, стало ключевым фактором для эффективного использования общего радиоэфира множеством потребителей. Эту технологию можно проиллюстрировать с помощью бытового радиоприемника, где в эфире одновременно присутствуют сигналы разных радиостанций, и приемник позволяет выбрать нужную частоту для прослушивания определенной станции.

Значительный прогресс в развитии радиосвязи был достигнут благодаря стремлению увеличить дальность передачи сигналов. Это было достигнуто за счет увеличения мощности излучаемых сигналов, что в результате позволило значительно расширить зону покрытия и повысить качество передачи информации на большие расстояния.

Появление технологии передачи подвижных изображений потребовало разработки широкополосных каналов связи, значительно превосходящих по пропускной способности телефоны и тем более телеграф. К этому времени часть радиоэфира уже заняли системы радиолокации, радионавигации и радиоуправления. Таким образом, к 30-м годам XX века стало очевидным, что дальнейшее развитие радиосредств ограничено уникальным природным ресурсом – емкостью радиоэфира.

Поиск путей разрешения возникшей проблемной ситуации привел к разработке новых видов модуляции, которые более экономно использовали доступный спектральный ресурс. Также были разработаны технологии передачи информации с ограниченной мощностью, методы селекции по направлению и принципы оптимального обнаружения с минимальным энергетическим расходом, и множество других инноваций.

Прорывной стала идея К.Шеннона, изложенная в двух его статьях, опубликованных в 40-е годы XX века [5]. Он поставил перед собой цель создать систему передачи информации, способную на приемном конце точно воссоздавать переданный сигнал. Однако данная задача оказалась сложной из-за объективных физических особенностей реального мира.

Во-первых, все радиотехнические устройства являются нелинейными, что обусловлено нелинейностью характеристик полупроводниковых приборов. Несмотря на то, что корректный выбор рабочих точек и динамического диапазона усилителей и других преобразователей позволяет использовать линейные модели для описания радиотехнических процессов, прохождение аналогового сигнала через многочисленные элементы приема-передающих трактов неизбежно приводит к искажениям его формы.

Во-вторых, проходя через среду распространения, сигнал претерпевает плохо предсказуемые искажения, что дополнительно затрудняет его точное восстановление на приемном конце.

В-третьих, приемник получает помимо целевого сигнала различные помехи и мешающие излучения (как сигнальной, так и шумовой природы), что также способствует искажениям сигнала.

Восстановление искаженного сигнала в его первоначальную форму основано на принципе конкатенации неискаженных фрагментов сигнала: если на приемной стороне заменить принятый искаженный фрагмент на его первоначальную форму, то можно получить идеальный исходный сигнал. Простейший вариант заключается в передаче двух видов фрагментов, которые существенно отличаются друг от друга и поэтому их сложно перепутать, даже в искаженном виде. Для дополнительного снижения вероятности перепутывания, можно передавать одинаковый фрагмент n раз подряд. При этом оптимальное значение n может быть рассчитано для конкретных условий и не обязательно должно быть целочисленным.

Такой подход к передаче информации позволяет однократно преобразовать аналоговый сигнал в цифровую форму с контролируемой потерей качества (при сохранении необходимого уровня). Далее цифровой сигнал можно передавать и ретранслировать сколь угодно много раз без потери качества. Это значительно упрощает изучение и разработку электроники, поскольку работа транзисторов в ключевом режиме всегда более доступна для изучения и практического использования.

Идея К.Шеннона была высоко оценена специалистами, но уровень технического развития середины XX века не позволял широко внедрять ее на практике, что отразилось на дискуссиях в научно-технической и культурной среде. Своеобразным отражением общественного отношения к вопросу цифровизации связи стала картина С. Дали «Менины» (1956 г.), в которой автор саркастически отразил идею адекватного описания окружающего мира с помощью цифр вместо слов и образов [6].

Вторая половина XX века стала периодом активного использования дискретных

сигналов в связи, особенно в каналах обмена данными между цифровыми электронно-вычислительными машинами.

Развитие микроэлектроники и расширение производственных мощностей, направленных на выпуск средств компьютеризации, сформировали рынок услуг для обмена данными между персональными компьютерами. В этот период обмен информацией осуществлялся посредством цифровых сигналов через аналоговые каналы телефонной связи.

Важно отметить, что термин «цифровизация» на тот момент еще не существовал, но именно в то время были заложены основы современного информационного общества. Использование цифровых сигналов для передачи данных стало революционным шагом в обмене информацией, и с течением времени этот процесс стал все более значимым и повсеместным.

Развитие рынка портативных средств коммуникации привело к широкому распространению специализированных каналов связи, обеспечивающих высокую скорость передачи данных благодаря широкополосным возможностям. Такие технологии ранее использовались главным образом в магистральных каналах передачи данных, прежде всего спутниковых [7].

К середине 90-х годов прошлого века в мире сложилась ситуация, когда использование персонального компьютера с избыточными характеристиками стало экономически более выгодным, чем разработка и создание специализированных устройств, выполняющих функции формирования, сбора, хранения, обработки, передачи и отображения информации. Телефонная связь, которая ранее обходилась каналом связи с полосой менее четырех килогерц, перешла на использование значительно более широкого канала, что привело к улучшению качества связи и возможности легкого расширения набора дополнительных сервисных функций.

Новые оконечные устройства были разработаны с учетом высоких скоростей обмена данными, что послужило стимулом для появления новых видов коммерческой деятельности, называемых сегодня цифровыми услугами.

Широкополосные цифровые каналы передачи данных становились все более доступными с ростом числа потребителей, совместно оплачивающих их емкость. Это способствовало появлению новых видов бизнеса, существование которых ранее было невозможно по техническим причинам.

Арендуя каналы передачи данных, различные экономические субъекты создали частные телевизионные каналы, киноплатформы, радиостанции, консультационные сервисы и многое другое. Для обозначения инновационных видов деятельности появились новые термины, такие как «блоггерство», «коучинг» и другие. Многие коммерческие организации начали менять формат предоставляемых услуг – появилась возможность за небольшие деньги что-то не делать, например, не посещать банк или не стоять в очередях.

Все эти новые формы деятельности, позволяющие организаторам и предпринимателям обеспечивать свое финансовое благополучие, стали сопровождаться различными поставщиками оконечного, коммуникационного и сетевого оборудования, программным и информационным обеспечением, консультационными, финансовыми, юридическими услугами и т.д. В результате возникла потребность в определении и названии этого явления, что послужило мотивом для Николаса Негропonte придумать

новый термин «цифровая экономика».

Термин «цифровая экономика» оказался востребованным и получил широкое распространение, объединив общим понятием ряд других смысловых конструкций, таких как [6]:

- автоматизация – замена деятельности человека на функционирование машины;
- компьютеризация – использование компьютерной техники в процессе труда;
- информатизация – формирование, хранение, организация доступа и анализ больших объемов данных;
- роботизация – использование автономных машин, выполняющих заданную последовательность действий;
- информационные технологии (ИТ) – деятельность, связанная с программированием и администрированием вычислительных машин.

2 Технический фундамент цифровизации

Задача снижения трудозатрат на достижение требуемого результата являлась актуальной для человечества в целом и для каждого индивидуума на протяжении многих веков. Основными направлениями решения данной задачи являются оптимизация трудозатрат (разумный подход к планированию и выполнению работ) и привлечение помощников, в качестве каковых использовались как люди и животные, так и искусственные приспособления, устройства и приборы [8, 9].

Паруса, ветряные и водяные мельницы, паровые и электрические машины стали эпохальными вехами на пути человека к величию в окружающем его враждебном мире дикой природы. Перечисленные средства позволили усилить физические способности человека за счет достижения скоростей и продолжительностей перемещения, масс перемещаемых тяжестей, дальностей поражения цели, недоступных его телесным возможностям.

Это стало результатом использования человеком его существенного преимущества перед другими живыми существами – разумности [8, 9].

В XX веке пришла пора автоматизировать и эту способность человека.

Мыслительная деятельность человека в существенной мере может быть представлена как совокупность умений:

- фиксировать, оценивать и запоминать шесть видов внешних ощущений: зрительных, слуховых, обонятельных, тактильных (осозательных), вкусовых и кинестетических;
- анализировать их взаимосвязи;
- выявлять, формулировать и запоминать закономерности происходящего (формировать модель бытия);
- строить прогнозы событий в перспективе.

Проявлениями разумности традиционно считаются умения считать, писать, отвечать на голосовые команды, музицировать и танцевать. Попытки создания машин с подобными способностями предпринимались давно, и в нескольких случаях они даже приводили к успешным результатам. Хотя абак V века до н.э. вряд ли можно рассматривать как предвестие современного компьютера, механическая Паскалина середины XVII века представляет собой устройство, способное имитировать процесс счета, выполняемого человеком (рисунок 1).



Рисунок 1 – Механическая Паскалина для проведения вычислений

В XVIII веке развитие тонкой механики открыло перед человечеством возможность создания андроидов – механических существ, которые удивительно правдоподобно имитировали некоторые виды человеческой деятельности, включая игру на музыкальных инструментах, письмо, танцы и многое другое.

Эра электричества принесла новые возможности для реализации разумно-подобных устройств. Щелкающие реле оказались более эффективными, чем жужжащие шестеренки, но только с появлением транзисторной технологии стало возможным обеспечить высокую надежность работы сложных вычислительных механизмов – и то не сразу.

Электронно-вычислительные машины (ЭВМ) дали возможность надежно хранить, быстро обрабатывать и наглядно представлять большие объемы данных. Эти технологические возможности позволили оперативно и безошибочно проводить математические расчеты и сравнения.

Однако расширение сфер применения компьютера на производстве, в бизнесе и в быту привело и к пропорциональному росту правонарушений, связанных с использованием этих новых технических средств и их возможностей [10, 11].

Следует отметить, что преступность часто использует передовые разработки и новинки для противоправных действий, опережая в своей креативности знания и возможности правоохранителей. Более века назад научное сообщество подняло на смех автора инновационной технической разработки для резки металла (автогена), а лондонские медвежатники заказали изготовление устройства по чертежам из журнальной статьи и, с его помощью, успешно вскрыли сейф. Точно также современные взломщики обходят защиту в виде цифровых замков и заборов используя новейшие инструменты и технологии.

Появление фотографии повлекло за собой изготовление фальшивых фотодолларов, для борьбы с которыми был осуществлен переход на технологию цветной печати денежных купюр, и термин «*green backs*» – зеленые спинки пришел в английский, а в 90-е годы XX века и в русский, язык благодаря продвинутым злоумышленникам. Кроме того, фальшивомонетчики конца XX века активно прибегали к использованию цветных копиров и принтеров.

Сегодня компьютерные устройства стали неотъемлемой частью нашей повседневной жизни, и лишь представители старших поколений признаются в том, что им сложно освоить все новшества технического прогресса.

Разные авторы-визионеры предвидят наступление эпохи, когда искусственный интеллект полностью заменит человека. Скептики им противоречат, утверждая, что человек умеет думать, а машина – нет. Споры на эту тему не утихают, их разрешение кажется далеким, так как требует согласования терминов и понятий [8, 9]. На профильных конференциях дискуссии тоже ведутся, но обсуждаемые вопросы существенно специфичны и, попадая в сеть в интерпретации журналистов и добровольцев, только усугубляют бесконечные споры.

Серьезный анализ приводит к признанию того, что естественный интеллект, в противоположность искусственному, не существует в природе. Интеллект формируется в процессе обучения, включая самообучение, независимо от того, является ли организм биологическим или технической системой. Может ли последняя мыслить? Сложный вопрос для простого ответа, поскольку требует ответа на вопрос «Что значит думать?».

Первые компьютеры заметно выделялись среди механических вычислительных устройств и ткацких станков с перфокартами, созданных десятки и даже сотни лет назад, поскольку они предоставили возможность не только автоматизировать отдельные действия, но и мыслительную деятельность людей [12].

Авторитетные исследователи связывают появление прообраза современных смарт-устройств с именем Алана Тьюринга, впервые сформулировавшего положительный ответ на вопрос о мыслящей машине [8, 9]. Тем не менее, первой ступенью в его логической конструкции был другой вопрос: одинаково ли думают люди? Легко согласиться, что эти споры вызваны различием способов мышления у разных людей. Таким образом, машина, потенциально, способна мыслить, но по-своему.

Вопросы о том, как реализовать потенциал информационных технологий и как убедиться в его реализации, стали ключевыми для развития этого направления исследований. Электромеханические и электровакуумные устройства стали первой технической основой для создания блоков и модулей, имитирующих биологический мозг. Однако их низкая надежность и быстродействие не обеспечивали видимых результатов. Настоящим прорывом в этом направлении стали полупроводниковые транзисторы.

Конкуренция между различными вариантами аналоговых и дискретных систем для преобразования входных сигналов в выходные позволила выявить продуктивные подходы к решению задач преобразования и сравнения групп чисел. На данный момент цифровые машины с бинарным представлением данных заняли ведущие позиции на рынке вычислительной техники, а также компьютерных и телекоммуникационных услуг, хотя в рамках научных исследований продолжают работы и в других направлениях.

Изначально нарисованные на бумаге транзисторные схемы узлов ЭВМ в практике работали нестабильно, часто выходили из строя и перегревались. Они также функционировали медленно из-за большого времени, затрачиваемого на обмен сигналами между элементами схемы. Некоторые производители, стремясь к увеличению скорости, создавали компьютеры в форме шара, чтобы сократить длину соединительных проводов, и пропускали трубки с охлаждающей жидкостью через схемные элементы.

Для преодоления таких негативных проявлений достигнутого уровня развития

вычислительной техники требовалось одновременно решить несколько задач:

- повысить надежность полупроводниковых приборов,
- уменьшить размер транзисторов,
- снизить энергопотребление элементов процессора.

Прогресс в области технологий полупроводникового производства значительно улучшил надежность продукции, позволяя создавать микросхемы, объединяющие в едином корпусе множество транзисторов и других элементов. При изготовлении партии из тысячи транзисторов технический контроль обеспечивает требуемые параметры лишь у половины из них. При этом технический контроль отбракует 50% продукции. Однако, если объединять два транзистора в одном корпусе при той же надежности, уровень брака в готовых изделиях возрастает до 75%. Это подчеркивает важность оптимального размера партии микросхем с тысячей транзисторов для получения работоспособного экземпляра.

Для массового производства современных больших интегральных схем, содержащих миллионы транзисторов (клапанов, ключей), потребовалось пройти длинный путь, на котором удалось преодолеть множество теоретических и практических проблем.

Внутри корпуса современного процессора находится чип, на котором расположен «многослойный пирог», собранный из полупроводниковых элементов размером менее десятимиллионной доли миллиметра. Реализация такой конструкции на основе транзисторов полувековой давности потребовала бы капитального строительства грандиозных масштабов, а также отдельной электростанции для энергообеспечения.

Не все знают, что термин «чип» тесно связан с технологией производства микросхем. В этом процессе электронные компоненты будущих процессоров не создаются индивидуально, а группируются на единой пластине-подложке (рисунок 2). Затем эта пластина разрезается на ломтики – чипы (*chips, англ.*). Аналогично изготавливаются банкноты – печатается сразу целый лист, который далее нарезается на отдельные купюры.



Рисунок 2 – Пластина-подложка для производства процессоров

Особенности технологии изготовления чипов приводят к появлению микросхем с однотипной структурой, но различающимся значениям тактовой частоты. Из-за качественных различий между экземплярами чипов, расположенными в центре и на краях пластины, в процессе контроля и тестирования для каждого из них подбирается

тактовая частота, при которой тепловыделение не превышает установленных норм.

К сожалению, и на пути к миниатюризации существуют ограничения, преодоление которых невозможно по причинам не только технологического, но и физического характера.

Во-первых, технологии производства микросхем органическим является строение вещества, из которого изготавливаются элементы: радиус атома составляет величину порядка 10^{-8} мм, следовательно, ширина электропроводящих дорожек в чипе уже сейчас составляет всего несколько десятков атомов.

Во-вторых, существенным ограничением является физическая невозможность неограниченного роста тактовой частоты работы процессора: электросигналы с частотой более 3 ГГц не могут распространяться по проводникам на большие расстояния. Экстенсивный путь развития вычислительной техники по пути многопроцессорности также имеет свои ограничения: не все задачи можно решать на основе параллельной обработки данных.

Применяемые в пору первых ЭВМ варианты исполнения ячеек памяти поражают своим разнообразием и экзотичностью: ферритовые кольца, тонкие магнитные домены, магнитные пленки и пластины. Современные технологии изготовления ячеек памяти используют топологические нормы, эквивалентные единицам нанометров.

Вопрос о форме представления выходных сигналов процессора также решался последовательно: от набора загорающихся и гаснущих лампочек, через монохромные аналоговые и масочные телевизоры, мнемотабло и табло коллективного пользования, до современных цветных мониторов с высоким и сверхвысоким разрешением и гибкой матрицей.

Интерес представляет историческая эволюция методов и устройств ввода и вывода данных.

Перфоленты и перфокарты, гибкие и жесткие магнитные диски, магнитные ленты и кассеты позволяли хранить и оперативно загружать данные. Первичный ввод данных осуществлялся через клавиатуру и специальные наборные панели, а также через каналы электросвязи от датчиковых систем измерения, сигнализации, сбора данных и приема сигналов.

Для вывода с целью хранения результатов обработки использовались забытые сегодня печатающие устройства различной конструкции:

- консольные печатные машинки и телетайпные аппараты;
- алфавитно-цифровые печатные устройства, осуществляющие скоростную построчную печать;
- абонентские терминалы, удивительно формирующие печатаемую строчку не слева-направо, а в случайном порядке за один оборот печатающего ремня;
- чернильные самописцы и факсимильные аппараты, формирующие изображение на электрохимической бумаге за счет пропускания через нее тока многоканальной гребенкой иголок; планшетные и рулонные графопостроители и др.

Для повторного использования результатов обработки применялись перфораторы карт и лент, накопители на магнитных лентах и дисках, дискеты, оптические диски, стримерные кассеты и другие устройства.

Достижения физики и химии позволили совершить прорывы в области микроминиатюризации электронных компонент вычислительной техники, что привело к появлению компактных мини и микро-ЭВМ, ставших новым классом офисной и бытовой техники.

На заре эры персональных ЭВМ, позднее переименованных в компьютеры, возможности производителей превосходили потребности потенциальных пользователей. Большие ЭВМ были неудобны для бытового использования из-за своих габаритов и стоимости, и в то время не осознавалась их потенциальная полезность для домашнего использования. Однако рассказы тех, кто уже имел опыт работы с ЭВМ, о «чудесах», которые она могла творить – игры в Калах или Старвар, чтение и печать книг, создание и печать изображений из букв, цифр и символов – создавали завышенные ожидания от владения таким удивительным электронным устройством. Одним из существенных недостатков первых ЭВМ была необходимость умения «общаться» на ее языке, требующая специальных знаний и обучения.

Для расширения аудитории потребителей своей продукции производители стали работать над тем, чтобы сделать машины более дружелюбными и человечными. Часто можно слышать от молодых айтишников, что гениальные представители нового класса интеллектуалов изобрели новый вид интерфейса – инфографику. Не приуменьшая заслуги легендарных личностей из сферы информационных технологий, справедливости ради, необходимо отметить, что еще их предки знали свой шкафчик в детском саду благодаря картинкам.

Первые бытовые компьютеры использовались как пишущие машинки и игровые центры (см. рисунок 3).



Рисунок 3 – Первые персональные компьютеры

Возможность соединить компьютеры в сеть способствовала появлению энтузиастов, выделяющихся «красными глазами», которые, используя более доступные ночные тарифы, активно загружали в сеть все подряд через телефонные модемы. Это позволяло им зарабатывать лимиты для скачивания файлов, таких как драйверы, книги, изображения, музыка и многое другое.

К концу 90-х годов XX века завершилась технологическая революция: персональный компьютер полностью завоевал мир. Массовое производство снизило стоимость аппаратной части, что позволило ей находить применение в системах ввода, сбора, хранения, обработки и отображения данных, а также в мониторинге и управлении технологическими процессами. Персональные компьютеры стали неотъемлемой частью контрольно-измерительных и вещательных устройств, а затем также видеотехники и телефонов.

Возросшие вычислительные мощности компьютеров позволили реализовать большую часть из того, что было придумано ранее и ждало требуемого уровня развития техники для практического воплощения.

В большинстве сфер деятельности компьютер заменил пишущую машинку, калькулятор, кульман, макетный стенд, радиолaborаторию. Вычислительный эксперимент занял почетное место в пантеоне методов научного познания.

Компьютерная техника, несомненно, требовала значительных умственных усилий для своего развития, привлекая внимание множества светлых голов. И сегодня еще бытует мнение, что человек с ноутбуком способен стать самодостаточным столпом для постиндустриального общества. При этом забывается, что компьютер самого продвинутого программиста располагается (возможно с перерывами) на одном конце длинной проводной линии электропитания, на втором конце которой находится человек с лопатой, кидающий уголь в топку на теплоэлектростанции. И этот человек более самодостаточен.

Особенностью освоения компьютера на уровне пользователя оказалась обратная зависимость между сложностью самого устройства и простотой использования; многое требуется не понимать, а просто знать. «Дружелюбный интерфейс» и встроенные механизмы помощи пользователю и защиты от ошибок позволяют осваивать современные гаджеты детям младшего возраста.

В 70-е годы XX века появились специализированные микроэлектронные устройства, получившие название цифровых сигнальных процессоров. За последующие десятилетия они значительно продвинулись в своей производительности и стали гораздо более доступными, что позволило использовать их в различных профессиональных областях для обработки сигналов.

Несколько позже произошло внедрение оптико-электронных устройств, реализующих принцип регистрации изображения не на пленку, а на ПЗС-матрицу в бытовой сфере. В продаже появились так называемые цифровые фотоаппараты и видеокамеры. В то же время, появились новые носители информации, заменяющие аудио- и видеокассеты, и использующие цифровой формат записи.

Тем не менее, термин «цифровизация» пока не использовался для обозначения всех этих технологических изменений.

3 Век цифровизации

Выделение новых видов коммерческой деятельности и введение термина «цифровая экономика» связаны не только с технологиями, но и с разнообразием новых видов работы. Поэтому на рынке начали появляться совершенно новые продукты и услуги.

Шутка о том, что программист – это специалист, решающий задачу, о которой вы и не знали, способом, который вы и не представляете, все же имеет свою долю правды. В цифровой технике программисты играют критическую роль, создавая программы, которые определяют порядок и условия перехода транзисторов между двумя устойчивыми состояниями, обозначаемыми нулем и единицей [13].

Имея универсальную программу и создавая набор специализированных программ, обеспечивающих выполнение универсальной программы на различных аппаратных платформах, программисты выполняют задачи, которые могут быть неочевидными для неспециалистов.

В 90-е годы XX века появилась новая категория профессионалов, предоставляющих специализированные услуги по настройке компьютеров. Эти специалисты не

занимаются сборкой или ремонтом аппаратной части, и, возможно, даже не обладают навыками программирования. Однако их уникальное умение заключается в правильной установке программ и настройке коммуникационных окон программного обеспечения на компьютерах. Эта профессия напоминает работу настройщика роялей – они не являются композиторами, музыкантами или производителями инструментов, но их помощь необходима для того, чтобы музыка звучала гармонично.

К середине 90-х годов стало заметно возрастающее количество людей и компаний, которые занимались продажей чего-то, что не всегда было ясно определено или понятно в рамках традиционной теории материального производства.

Термин «цифровая экономика» возник в то время, чтобы обозначить новые тенденции в экономике. Всплеск интернет-компаний (доткомов), который произошел в конце 90-х, завершился крахом многих из них. Однако это стало отправной точкой для формирования более обдуманных стратегий и бизнес-моделей современности.

Логично предположить, что настоящая причина краха интернет-компаний заключалась в том, что у многих бизнесменов и сторонников «новой экономики» возникла неправильная интерпретация понятий. Они начали рассматривать ведение бизнеса через интернет как самостоятельный бизнес-процесс, способный генерировать значительный доход. На самом деле, интернет был лишь инструментом для осуществления бизнес-процесса, а не отдельным источником дохода. Однако с помощью этого инструмента можно было существенно повысить эффективность «традиционного» бизнеса или реализовать новые бизнес-идеи, которые без интернета были бы невозможны или менее эффективны.

Как и в золотой лихорадке на Аляске, где основную прибыль получали производители лопат, в цифровой экономике также существует невидимая часть всего происходящего. За кулисами мобильных и десктопных терминалов с пользовательскими интерфейсами, за прокачиваемым текстовым контентом и видеороликами, стоят колоссальные по масштабу, энергоемкие физические дата-центры с гигантскими градирнями и миллионы километров электрических и оптоволоконных кабелей. Здесь сосредоточены центры связи с огромными антеннами и отдельными электростанциями. Также необходимы тысячи представителей обслуживающего и ремонтного персонала, и конечно фабрики, занимающиеся производством всего этого оборудования.

В цифровой экономике существуют и традиционные бизнесы, включающие бухгалтерию, страхование, консалтинг, обучение и много других аспектов, которые поддерживают и сопровождают функционирование цифровой инфраструктуры.

Таким образом, виртуальная часть цифровой экономики, представленная нам интерфейсами и контентом, поддерживается материальным пространством, обеспечивающим стабильную и эффективную работу цифровых сервисов.

Сказать, что сегодня существуют нечто совершенно новое, чему не было бы аналогов в прошлом, возможно, не совсем справедливо. Многие аспекты нашей современной жизни имеют прямые исторические аналоги. Однако следует заметить, что, хотя сущностные вещи остаются неизменными, формы представления результатов и их количественные характеристики претерпели значительные изменения.

Поскольку основная цель любой деятельности заключается в том, чтобы результаты ее работы воспринимались человеком, конечная форма представления результатов была вынуждена соответствовать биологическим органам восприятия. В опреде-

ленном смысле даже эти биологические органы можно рассматривать как цифровые, так как они обладают дискретной и квантованной структурой, но с более тонкой организацией.

Несмотря на то, что инновации и современные технологии могут казаться совершенно новыми, они всегда строятся на основе предыдущих знаний и приспосабливаются к биологическим возможностям восприятия человека. Это своего рода непрерывное развитие и эволюция, которая позволяет нам воспользоваться возможностями цифровой эпохи в соответствии с нашей природой и способностями см. рисунок 4).

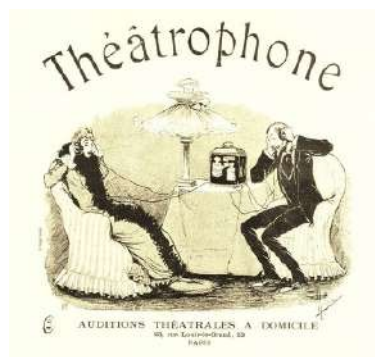


Рисунок 4 – Появление коллективной телефонной связи

100 лет назад, чтобы увидеть то, что снимает другой человек на кинокамеру, нужно было пойти в кинотеатр. Это могло быть выступление актеров, подобно тому, как это происходит в театре, а также виды, для запечатления которых приходилось добираться, возможно, далеко или сложно. Носителем была киноплёнка – сложная в хранении, эксплуатации и тиражировании.

50 лет назад возникла возможность смотреть те же фильмы дома, но в строго определенное время, по программе телепередач.

30 лет назад появилась возможность просматривать на телевизоре желаемые материалы в удобное для себя время. Однако для этого требовалось либо записать видеокассету, либо взять ее напрокат в специальных пунктах или получить по почте.

25 лет назад видеокассеты стали уступать место более удобным CD и DVD-дискам, а также флеш-накопителям.

10 лет назад появились каналы связи, позволяющие иметь пространственно-разнесенные системы, где органы управления и монитор, представленные компактным устройством, находятся в разных местах по отношению к хранилищу цифровых данных, которое также может быть распределено.

Таким образом, развитие технологий и каналов связи привело к постепенному улучшению способов просмотра и доступа к информации, делая его более удобным и доступным для широкой аудитории.

Вернемся к понятию цифровизации.

Цифровизация – это не просто использование цифр или цифровых технологий [4, 5]. Это изменение самой модели ведения бизнеса. Основной идеей цифровизации является продажа квазиматериальных сущностей, обладающих потребительской ценностью.

Программист, сгенерировав последовательность нулей и единиц, имеет возможность изменить состояние нового компакт-диска, делая его непригодным для записи

после заполнения данными. Теперь на диске хранится информация, которую можно использовать для просмотра или формирования видео- и аудиоматериалов. Если несколько потенциальных покупателей захотят приобрести копию с этой последовательностью, то стоимость второго диска определяется лишь ценой чистого компакт-диска и крошечными расходами на запись данных.

Также можно представить другой сценарий: программист разрабатывает код, который генерирует уникальные последовательности нулей и единиц для каждого заказчика. Каждый клиент получает свой собственный персональный идентификатор в виде этой последовательности, которую можно использовать для безопасной идентификации при переписке по телекоммуникационным каналам.

Оба примера показывают, как программист может создавать и управлять последовательностями данных, чтобы обеспечить различные функциональные возможности и удовлетворить потребности клиентов.

Попробуйте объяснить такую деятельность 30 лет назад и станет понятно, что по тем временам это было нечто новое, требующее именованья.

Возьмем, к примеру, завод, который производит кастрюли. Каким образом можно было провести цифровую трансформацию производства тогда?

Ответ: никак.

Можно минимизировать число обслуживающего персонала за счет автоматизации.

Можно заменить отдельных исполнителей компьютерами и роботами – компьютеризация и роботизация.

Можно переставить станки для сокращения издержек, возможно подобрав вариант нового размещения с использованием специального программного обеспечения (часто именуемым созданием цифрового двойника [14]), – но это оптимизация.

Если каждый работник имеет мобильный телефон с цифровым фотоаппаратом, это не является цифровой трансформацией производства, а скорее является обычной частью современной жизни, где технологии доступны каждому.

Даже если продажа кастрюль осуществляется через интернет, это также не считается цифровизацией. Производство материальных ценностей всегда использовало технический прогресс для улучшения процессов и продвижения продукции [15].

Однако можно рассмотреть фантастический сценарий и предложить новый источник дохода, связанный с цифровой экономикой, для кастрюльной фабрики. Например, организовать платный просмотр систем видеонаблюдения, установленных в производственных цехах, предоставляя тем самым виртуальные экскурсии по заводу. Такая идея может привлечь интерес клиентов и создать дополнительный источник дохода.

Корректно ли говорить о создании цифрового контента? Пожалуй, нет. Никто в середине прошлого века не говорил о создании аналогового контента. Создатели картинки и звукового ряда (контента) для потребления пользователями используют для хранения и доставки доступные каналы связи. Делать сегодня это через интернет проще и дешевле. От этого контент не стал цифровым.

Что такое «цифровая типография»? Это процесс печати на первый взгляд может казаться аналоговым из-за использования бумаги и красителей, тем не менее, суть цифровой типографии заключается в применении компьютерных технологий для под-

готовки и передачи данных на печатное оборудование. При этом следует отметить, что рисовать точками (пикселями в современной терминологии) человечество научилось века назад.

Словосочетание «цифровая платформа» мы воспринимаем как удобный и современный способ получить необходимые услуги или информацию с помощью приложения [16]. Цифровые технологии действительно обеспечивают быстроту, доступность и эффективность в удовлетворении наших потребностей. Хотя технически возможно предоставление услуг и без использования цифровых технологий. Это часто будет менее эффективным, затратным и затруднительным процессом. Аналоговые способы не всегда способны обеспечить такой уровень удобства и оперативности, как цифровые платформы.

Важно отметить, что аналоговый способ представления информации не является хуже цифрового. В некоторых областях, например, в аудио, аналоговые технологии до сих пор используются для достижения премиального качества звука. В самой природе мы также взаимодействуем с аналоговыми формами представления информации.

Аналого-цифровое преобразование может сопровождаться потерей качества сигнала, но благодаря развитым методам обработки и высокой скорости передачи данных, эта потеря может быть минимизирована. Закономерно, что чем выше требования к качеству, тем больше данных необходимо передавать по цифровым каналам связи.

Используя песок, клей и пинцет, можно строить любое сооружение, но это займет много времени. Крупные блоки позволяют строить быстро, но с ограниченными вариантами. Оптимальным решением является строительство из кирпича: миниатюрные кирпичи обеспечивают большую вариативность, хотя процесс строительства может замедлиться. Также можно оптимизировать процесс, используя различные по форме кирпичи для формирования элементов сооружения.

Современное строительство применяет передовые технологии, включая бетонные смеси, готовые в заводских условиях, и сборно-разборные формы. Это позволяет оптимизировать строительный процесс, повышая его эффективность и гибкость.

В контексте передачи данных, процедура может быть аналогичной. Бинарные потоки передаются по стандартным каналам данных, а приемная сторона придает им необходимый вид в соответствии с алгоритмом. Стандартизация процессов позволяет использовать универсальные аппаратно-программные решения с массовым производством, что снижает издержки и обеспечивает доступные цены для пользователей.

Заключение

В современном обществе термин «цифровой» стал широкоупотребимым и популярным. Однако не всё, что в настоящее время называется «цифровым», действительно относится к технологиям, процессам или продуктам, связанным с цифровой обработкой данных. Более того, аналоговые формы представления информации до сих пор не утратили свою ценность и являются эффективными при решении многих научно-технических задач.

Цифровизация – это не просто использование цифровых технологий, а изменение модели ведения бизнеса, организации деятельности и получения дохода за счет применения современных информационно технологий. Использование цифрового

формата данных и цифровых технологий без изменения моделей бизнеса, применения новых форм коммерческой деятельности, переосмысления процессов взаимодействия с клиентами и рынком не является цифровизацией.

Цифровая экономика является результатом появления новых видов коммерческой деятельности, использующих цифровые технологии, что дает возможность создавать новые продукты и услуги, которые в ряде случаев не имеют физического эквивалента. Цифровые продукты и услуги могут быть представлены и распространены исключительно в электронном виде, без необходимости создания материальных объектов, что позволяет значительно увеличить их доступность и масштабирование, а также сократить издержки на производство, хранение и доставку.

Цифровые технологии, продукты и услуги предоставляют удобные инструменты для удовлетворения различных потребностей современного общества, таких как коммуникация, доступ к информации, развлечение и образование. Благодаря этому они могут повысить качество жизни, улучшить доступность ресурсов и оптимизировать решение рутинных задач, однако сами по себе они не удовлетворяют базовые физические потребности человека, такие как питание, сон, охрана здоровья и среды обитания, а также другие физические потребности человека.

Развитие цифровых технологий, их повсеместное применение, удобство и доступность цифровых продуктов, а также возможности для инноваций и интерактивности создают благоприятную среду для постоянного развития и прогресса. Однако общество потребителей цифровых сервисов становится все более уязвимым в условиях быстрого развития цифровой экономики. Это связано не только с кибербезопасностью, но и с постепенной потерей навыков выживания вне цифровой среды: снижением умения решать повседневные задачи в реальном мире, психологической зависимостью от цифровых сервисов и социальных сетей.

Литература

- 1 Щеглов Д.К. Умные технологии // ВКонцерне. – 2021. – №1. – С.4-5.
- 2 Nicholas Negroponte Being Digital / New York. Hodder & Stoughton Copyright. 1995. 252 p.
- 3 Thomas Soseco Effect of e-Money to Economic Performance (A Comparative Study of Selected Countries) / The 2016 International Conference of Management Sciences (ICoMS 2016), March 10, Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Indonesia. pp. 9-12.
- 4 Щеглов Д.К., Пиликов Н.А., Тимофеев В.И. Концептуальные основы цифровой трансформации организаций оборонно-промышленного комплекса // Автоматизация в промышленности. – 2021. – №2. – С.13-23.
- 5 Claude E Shannon, Warren Weaver The Mathematical Theory of Communication, volume 1. University of Illinois Press, 1949. 125 p.
- 6 Бородавкин В.А., Щеглов Д.К. Введение в цифровую трансформацию предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности: новые подходы // Инновации. – 2020. – №12 (266). – С.23-32.
- 7 Алексева В.Ю., Пиликов Н.А., Щеглов Д.К. Некоторые перспективные направления развития информационного обеспечения жизненного цикла сложных технических систем // Инновации. – 2015. – №2 (196). – С.116-120.

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

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

10 Щеглов Д.К., Сайбель А.Г., Баушев С.В. Объективизированный показатель защищенности электронных информационных ресурсов инновационного предприятия // Инновации. – 2021. – № 3 (269). – С.85-91.

11 Щеглов Д.К., Савельев С.К., Кузнецов А.А. Концептуальные основы построения комплексной системы информационной безопасности в условиях цифровой трансформации организации оборонно-промышленного комплекса // Оборонный комплекс – научно-техническому прогрессу России. – 2022. – № 2 (154). – С.3-13.

12 Симонова Е.С., Золотухин М.С. История развития ЭВМ и поколений персональных компьютеров // Современные научные исследования и инновации. 2020. №4 [Электронный ресурс]. URL: <https://web.snauka.ru/issues/2020/04/92151>

13 Щеглов Д.К., Сайбель А.Г., Букарев А.М. Методология оценки эффективности проектов цифровой трансформации предприятий высокотехнологичной промышленности // Инновации и инвестиции. – 2023. – №10. – С.383-395.

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

15 Ерошин С.Е., Щеглов Д.К. Методика разработки концепции цифровой трансформации организации оборонно-промышленного комплекса // Инновации и инвестиции. – 2022. – №1. – С.214-223.

16 Ahmad Asadullah, Isam Faik, Atreyi Kankanhalli Digital Platforms: A Review and Future Directions / Twenty-Second Pacific Asia Conference on Information Systems 2018. Yokohama, Japan. URL: https://www.researchgate.net/publication/327971665_Digital_Platforms_A_Review_and_Future_Directions

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

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

Email: saybel_ag@mail.ru

Щеглов Дмитрий Константинович – кандидат технических наук, доцент, начальник расчетно-исследовательского центра, АО «Обуховский завод», заведующий базовой кафедрой средства ВКО и ПВО ФГБОУ ВО Балтийский государственный технический университет «Военмех» им.Д.Ф.Устинова, г. Санкт-Петербург.

Область научных интересов: инженерные расчеты, методы проектирования сложных

технических систем, системный анализ, промышленная автоматизация, управление проектами, методы и средства цифровой трансформации предприятий высокотехнологичных отраслей промышленности.

Email: _dk@bk.ru

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

DIGITIZATION AND DIGITAL TECHNOLOGIES: FROM THE ORIGIN OF THE TERM TO ITS CONTEMPORARY USE

The article to a retrospective analysis of the development of digital technologies and the process of digitization is dedicated. It is demonstrated that the term «digitization» not only reflects the use of digital technologies for the collection, processing, and storage of information but is also associated with the emergence of new business models, goods, and services that have become highly sought after in the rapidly evolving landscape of information and communication systems and networks.

Keywords: digitization, digital technologies, digital economy, digital transformation, «digit».

Saybel Aleksey Gennadievich - Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor of the Scientific and Educational Center, St. Petersburg.

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

Shcheglov Dmitriy Konstantinovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Department, JSC “Design Bureau of Special Mechanical Engineering”, St. Petersburg.

Research interests: digitalization of manufacturing, optimization of manufacturing processes.

УДК 530.121

ОШИБОК В СПЕЦИАЛЬНОЙ ТЕОРИИ ОТНОСИТЕЛЬНОСТИ НЕ ОБНАРУЖЕНО

Белянкин П. В.

В данной заметке рассмотрены утверждения статей, оспаривающие положения Специальной теории относительности. Показано, что авторы не учитывают влияния эффекта Доплера на частоту приёма импульсных сигналов и интервалы времени между ними от движущегося с релятивистской скоростью источника.

Ключевые слова: Специальная теория относительности, теория aberrации, критика СТО, релятивистское замедление времени, эффект Доплера.

В разделе «Дискуссионная трибуна» журнала «Радионавигация и время» №11(19) за 2023 год автор статьи «Специальная теория относительности дает ошибки в 100 раз и более» [1] доктор технических наук Плясовских А.П. делится своим недоумением в части противоречивости результатов специальной теории относительности (СТО) А.Эйнштейна при решении реальных задач.

Для демонстрации положения, приведённого в названии статьи, автор статьи двумя способами оценивает частоту приёма сигналов от их источника, движущегося в сторону приёмника со скоростью, близкой к скорости света ($0,99c$).

В первом примере используется формула СТО для расчёта снижения измеренной в системе отсчёта неподвижного наблюдателя частоты источника сигнала, движущегося относительно него с релятивистской скоростью. Время движущегося источника замедлено, и его частота снижена для неподвижного наблюдателя пропорционально множителю Лоренца [2]

$$f_r = f_s \sqrt{1 - \beta^2},$$

где f_r – частота, измеренная неподвижным приёмником сигнала,

f_s – частота в собственной движущейся системе отсчёта источника сигнала, движущегося относительно приёмника со скоростью v ,

$\beta = v/c$ – отношение скорости источника сигнала v к скорости света c .

Согласно этой формуле, использованной автором для расчёта в первом из примеров, для приведённой в примере скорости $0,99c$, неподвижный приёмник измеряет частоту, равную $0,141$ от частоты источника сигнала, $8,46$ импульсов в минуту. Однако это значение верно только для источника, не изменяющего расстояния до приёмника в своём движении, например, движущегося под прямым углом к направлению на приёмник.

В рассмотренном автором случае движения к приёмнику присутствует вторая составляющая смещения наблюдаемой частоты – собственно эффект Доплера, выражающийся в «синем смещении» частоты

$$f_r = \frac{f_s}{(1-\beta)} = \frac{f_s}{(1-0,99)} = 100f_s.$$

То есть, только за счёт эффекта Доплера мы получаем измеренную частоту в

СТО [1] раз больше, чем передаваемую.

Релятивистское смещение и эффект Доплера при движении источника в сторону приёмника действуют на частоту в противоположных направлениях, частично компенсируя друг друга.

Необходимо отметить принципиальные различия релятивистского замедления времени, не выводимого из законов Ньютоновой механики, и нерелятивистского эффекта Доплера. Релятивистский множитель Лоренца пропорционален квадрату $\beta = v/c$, эффект Доплера в прямой или обратной пропорции от β и именно поэтому для малых β намного более значим, чем множитель Лоренца.

Поскольку в множителе Лоренца β возводится в квадрат, релятивистское замедление времени пропорционально модулю скорости - не зависящий от направления движения скалярный коэффициент. Время движущегося объекта всегда замедлено для неподвижного наблюдателя (время однонаправленно и скалярно).

Скорость движения – векторная величина, имеет помимо величины направление и, соответственно проекции направления, знак. Множитель эффекта Доплера пропорционален проекции вектора скорости на направление на приёмник.

При совместном влиянии эффекта Доплера и релятивистского замедления времени для приведённого в примерах [1] значения скорости принимаемая частота в 14,1 раза больше переданной, за минуту будет принято 846 импульсов. Это соответствует результатам расчёта для второго примера, в котором использована формула релятивистского эффекта Доплера для сближающихся приёмника и источника [3], совмещающая две составляющие смещения частоты (эффекты Доплера и СТО) путём подстановки одной из вышеприведённых формул в другую (в любом порядке):

$$f_r = \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta} f_s = \sqrt{\frac{1+\beta}{1-\beta}} f_s = \sqrt{\frac{1,99}{0,01}} f_s = 14,1 f_s, \text{ или } 846 \text{ импульсов в минуту.}$$

Очевидно, что значения, полученные в первом и втором примерах, совпадают при условии учёта в первом примере поправки к значению измеренной частоты на эффект Доплера.

Более общая формула, учитывающая направление движения к приёмнику или от него и угол θ между направлением на приёмник и направлением движения, выглядит так:

$$\text{Частота } f_r = f_s \frac{\sqrt{1-\beta^2}}{1-\beta \cos \theta} \text{ [3], интервал времени } \Delta t_r = \Delta t_s \frac{1-\beta \cos \theta}{\sqrt{1-\beta^2}}.$$

Неучтённый при расчёте эффект Доплера даёт при заданной скорости взаимного движения систем координат поправку в 100 раз, которую автор статьи и принимает за ошибку Специальной теории относительности (СТО). Аналогичным образом получают оценки предполагаемых ошибок СТО и во всех последующих выкладках автора [1].

В конце статьи автор сообщает, что погрешности СТО были экспериментально подтверждены при наблюдениях на гражданских воздушных судах [4], [5], что является основанием для создания автором альтернативной СТО теории aberrаций. К сожалению, в данных публикациях присутствует та же ошибка, что и в [1]. Авторы [4] (список из 100 человек) не разделяют, путают и смешивают релятивистское замедление времени и эффект Доплера. Неудивительно, что в эксперименте [4], [5] отклонение времени меняет знак в зависимости от направления движения воздушного судна к

наблюдателю или от него, что характерно для эффекта Доплера. Выведенные в статье теоретически и полученные в эксперименте значения отклонения времени задержки сигнала в седьмом знаке соответствуют именно нерелятивистскому эффекту Доплера, формулу для которого авторы и приводят вместо формулы релятивистской поправки (множителя Лоренца) [4, страница 53 внизу слева].

В статье авторы выводят формулу эффекта Доплера, рассчитывают отклонение задержки ответного сигнала относительно времени переданного и полагают, что это отклонение вызвано релятивистскими эффектами. Однако, соотношения СТО не выводимы в терминах и соотношениях механики Ньютона и не могут из них следовать.

Авторы никак при этом не оценивают численно ожидаемый порядок величины релятивистского замедления времени на движущемся воздушном судне. Сделаем это здесь [3]. Время в движущейся системе отсчёта оценивается неподвижным наблюдателем как

$$t_r = \frac{t_s}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{t_s}{\sqrt{1 - \left(\frac{330}{3 \cdot 10^8}\right)^2}} = t_s / 0,999999999999395.$$

Принимая максимальную скорость гражданского воздушного судна 330 м/с, получим предельную оценку релятивистской поправки отклонения частоты, равную $6,05 \cdot 10^{-13}$. Наличие такого отклонения можно определить, только используя при измерениях опорные генераторы на основе квантового стандарта частоты. Для измерения величины и исследования малых погрешностей эффектов СТО (на уровне единиц процентов) следует использовать стандарт частоты со стабильностью и погрешностью действительного значения частоты (ДЗЧ) порядка 10^{-15} . Таким образом, экспериментальное получение надёжных оценок релятивистских эффектов на борту гражданского воздушного судна при характерных для него скоростях представляется трудновыполнимой задачей. При движении на самолёте релятивистские поправки непросто, но возможно различить, при этом следует использовать квантовые стандарты частоты.

В 1971 году Хафеле и Китинг (USNO, США) четыре цезиевых стандарта HP5061A возили на гражданских авиарейсах, дважды обогнув Землю, по разу в направлении вращения и против него. После возвращения в лабораторию выходные сигналы этих стандартов сравнили с сигналами оставшихся в лаборатории аналогичных приборов. Измеренное расхождение, при аккуратном учёте эффектов не только СТО (динамического, с учётом угловой скорости вращения Земли), но и ОТО (гравитационного) вполне соответствовало прогнозируемому по формулам СТО и ОТО [6].

Выводы

Статьи [1, 4, 5] содержит положения, основывающиеся на неверной интерпретации совместного влияния эффекта Доплера и релятивистского смещения частоты при приёме от движущегося источника импульсных сигналов. Мы не утверждаем, что СТО полностью описывает все динамические эффекты бесконечно сложного мира физических явлений. Возможно, в дальнейшем будут расчётным путём или экспериментально обнаружены расхождения соотношений СТО с реальностью физического мира для определённых сочетаний условий. Это позволит построить новую теорию, в которую СТО полноправно войдёт как частный случай для определённых ограниченных условий, аналогично динамике Ньютона и геометрии Эвклида, описывающих явления

окружающего нас мира малых скоростей и слабой гравитации. Однако для рассматриваемых в статьях условий экспериментов признаков таких расхождений найти не удалось.

Литература

1 Плясовских А.П. Специальная теория относительности дает ошибки в 100 раз и более // Радионавигация и время: Труды СЗРЦ концерна ВКО «Алмаз – Антей». – 2023. – №11(19). – С.134-147.

2 Feynman, Richard P.; Leighton, Robert B.; Sands, Matthew (February 1977) “Relativistic Effects in Radiation” The Feynman Lectures on Physics: Volume 1. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley. Pp.34-79.

3 Угаров В.А. Специальная теория относительности. – М.: Наука, 1977. –250 с.

4 Плясовских А.П. и другие. Эксперимент по измерению наблюдаемого темпа хода движущихся часов //Автоматика и программная инженерия. – 2022. – №4(42).

5 Плясовских А.П. Эксперимент, результаты которого противоречат специальной теории относительности // Современные научные исследования и инновации. – 2023. – № 1.

6 Hafele J.C., Keating R.E. Around-the-World Atomic Clocks: Predicted Relativistic Time Gains //Science: journal. -1972. – July (vol. 177, no. 4044). – P. 166-168.

Белянкин Павел Владимирович – главный специалист, АО «Обуховский завод», г.Санкт-Петербург.

Область научных интересов: низкочастотные радиотехнические системы дальней навигации и передачи сигналов времени наземного базирования, прикладная и навигационная астрономия, цифровая обработка широкополосных сигналов.

E-mail: pvbjobbox@mail.ru

THE CHECK PERFORMED DID NOT FIND ANY ERRORS IN SPECIAL THEORY OF RELATIVITY

This note discusses assumptions that criticize the results of the Special theory of relativity. It is shown that assumptions are based on an error in calculations associated with the loss of taking into account the influence of the Doppler effect.

Keywords: Special theory of relativity, aberration theory, criticism of Special theory of relativity, relativity time duration, Doppler Effect.

Belyankin Pavel Vladimirovich – graduate student, JSC “Obukhov Plant”, St. Petersburg.
Area of scientific interests: low-frequency radio engineering systems for long-distance navigation and ground-based time signal transmission, applied and navigation astronomy, digital processing of broadband signals.

УДК 908

ТЕХНИЧЕСКАЯ ШКОЛА ПРИ ОБУХОВСКОМ ЗАВОДЕ

Шаталов А.В., Акулич Е.В.

В статье рассмотрены основные периоды истории становления и развития ГБОУ «Школа №337 Невского района Санкт-Петербурга имени Героя Российской Федерации Д.В.Долонского», расположенного на проспекте Обуховской Обороны, 257. Показана историческая и культурная значимость самого здания школы, как памятника архитектуры и объекта культурного наследия "Здание технической школы при Обуховском заводе" начала XX века. Кроме этого, рассмотрена деятельность историко-краеведческого музея школы «Наследие» через сохранение военной исторической памяти о выпускниках-героях, а также профессиональных заслуг выпускников школы для системы образования Невского района Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: Обуховский завод; техническая школа; музей «Наследие»; историческая память; военная история; выпускники-герои; школьные традиции; система образования Невского района Санкт-Петербурга

В Санкт-Петербурге, по адресу проспект Обуховской Обороны, дом 257 можно увидеть необычное здание – это школа № 337, построенная в стиле модерн по проекту гражданского инженера Федора Федоровича Лумберга в 1914-1916 годах. Красивейшее здание школы было построено в годы Первой мировой войны на средства рабочих Обуховского завода. Предшественницей этой школы было небольшое деревянное здание при Обуховском заводе. Открытие школы было инициативой Императорского русского технического общества (ИРТО). Общество способствовало появлению учебных заведений в промышленных районах. Так, в 1889 году Императорское русское техническое общество обратилось к правлению Обуховского завода о создании школы для детей рабочих, так как заводу нужны были квалифицированные рабочие.

4 апреля 1889 года помощник начальника завода Геннадий Александрович Власьев в своем письме Петербургскому губернатору сообщил о выделении помещения для обучения детей. Предполагалось, что в свободное от учебы время учащиеся будут трудиться на садовых и огородных работах. Так у завода появилась школа. Несмотря на то, что завод содержал школу, правление предприятия не могло участвовать в решении внутришкольных вопросов. Определение программы обучения, принятие на работу учителей – всем этим занималась специальная комиссия Императорского русского технического общества. Однако, всякий раз, когда в школе нужно было провести какое-нибудь мероприятие, разрешение нужно брать у директора завода и у петербургского градоначальника. Очень интересная и насыщенная была жизнь в школе. В архиве сохранилась программа литературного вечера, посвященного памяти Николая Васильевича Гоголя 31 марта 1909 года.

«Программа вечера (начало в 5 часов дня):

Н.В.Гоголь и его сочинения – преподаватель училища А.А.Шилов;

Пьеса «Женитьба» – прочтут учительницы К.Д.Ильина, А.Н.Гумань,

А.Б.Тихомирова и ученики И.Б.Лохоков, М.А.Даниленков, К.Б.Гудин, А.А.Кондрашов, Б.Д.Михайлов и Б.И.Семенов;

Отрывки из поэмы «Мертвые души» прочитает Е.Д.Ильина».

На Обуховском заводе была очередь для изъявивших желание учиться. Каждому подавшему заявление присваивалось определенное число, а высчитывалось, исходя из стажа и разряда отца, количества и возраста детей. В первый год в школу было зачислено 160 детей по списку. В школе было 3 отделения, разделенные по возрасту. В первом отделении 8-12 лет, во втором и третьем были дети старше 12 лет, но этим детям нужно было сдать экзамены. Интересный факт, как и в наши дни, дети в начале года проходили медосмотр. Затем обязательно служили молебен об успехах учащихся, а с 3 сентября начинались занятия.

Попасть в школу могли дети только тех рабочих, кто пришел работать на Обуховский завод очень молодым и еще желательным не женатым. Школа не справлялась с потоком желающих учиться. Была загруженность, маленькое помещение. Из 276 детей, чьи родители подали заявления, на учебу было принято 123 ученика. О необходимости постройки здания школы говорил Геннадий Александрович Власьев, ставший начальником завода.



Геннадий Александрович Власьев
Источник: <https://ru.wikipedia.org/wiki>

По его мнению, старое здание не отвечало своему назначению и «... вызывало в компетентных людях недоумение, как казенный Обуховский завод имеет школу, не только не удовлетворяющую количеству семей мастеровых, но и представляющую рассадник всевозможных болезней для детей, скученных в низких малообъемных помещениях мастерских ...».

В 1913 году Обуховский завод начал переговоры с уездной земской управой о постройке новой школы. Земство предложило строить здание на своей земле в 640 метрах от заводских корпусов. Долгие переговоры различных ведомств затянулись на несколько лет и лишили возможности многих детей учиться в маленькой школе. Устроиться на Обуховский завод неграмотному человеку можно было только черно-рабочим, поэтому многие рабочие учились на вечернем отделении.

В 1914 году началось строительство школы. Главное здание было построено в 1916 году.



Главное здание школы 1916 года

Источник: <https://pastvu.com/p/293135>

Современные просторные классы, большое количество кружков. Это была техническая школа с преобладанием ремесел. Ученики часто оттачивали свои навыки в мастерских и после окончания школы могли работать мастерами на Обуховском заводе. Обучение было платным, с рабочих высчитывали по 30 копеек в месяц. Сюда входила и стоимость учебников, тетрадей, а также подарков, которые дети получали по праздникам. Первым директором школы была Васильева Елизавета Петровна.

С 1917 года школа называлась 2-ая единая трудовая советская школа, а с 1922 года – школа № 125. Из документов мы знаем, какие предметы изучали ученики: родной язык и литература, арифметика, алгебра, геометрия, тригонометрия, естествоведение, физика, химия, география, обществоведение, рисование, пение, немецкий язык, черчение, ручной труд, бухгалтерия, практическое делопроизводство, хозяйственное право [1].

Наша школа – школа с богатой историей. Многое ей пришлось пережить. Но она никогда не теряла своей первоначальной функции.



Современное здание школы № 337
Источник: <https://school337.edusite.ru>

Константин Дмитриевич Ушинский писал о педагоге так: «Кто имеет целостность, беззаветную искренность души», «кто сохраняет в себе вечно не стареющее детство души», «кто не торгуется с самим собой» [5].

В жизни каждого человека есть свой учитель, без которого все дальнейшее могло не состояться. В нашей школе работало много замечательных педагогов, оставивших яркий след в школе № 337.

Подольская (Андреева) Валентина Николаевна окончила школу в 1949 году. Это был первый послевоенный выпуск.



Подольская Валентина Николаевна
Источник: Архив музея истории школы «Наследие»

В 1953 году она окончила Ленинградский Государственный педагогический институт имени Герцена факультет русского языка и литературы (логика и психология), а в 1955 году пришла в родную школу уже учителем.

С огромной благодарностью вспоминают ученики ее уроки, с которых не хотелось уходить. Спокойный голос, красивая речь, всегда ново, интересно, увлекательно – вот, что так манило на уроки этого учителя.



Подольская Валентина Николаевна
Источник: Архив музея школы «Наследие»

Выпускники Валентины Николаевны – врачи, учителя, директора школ, инженеры, научные работники – хранят в сердце образ удивительно умной, интересной, сильной женщины, на уроки к которой летели, как на крыльях.

В 1967 году в нашей школе был открыт музей истории школы «Наследие». Основателем и его руководителем была Подольская Валентина Николаевна. Музейная экспозиция отражает историю Невского района и школы в период 18 века по настоящее время, знакомит посетителей с его историческим и культурным наследием.

На открытии музея присутствовала великая Ленинградская поэтесса, «голос» блокадного Ленинграда, Ольга Федоровна Берггольц. Вот, что она писала [3]:

*«...Кирпичный дом, Обуховская школа
Доска, скамейки, длинные столы,
Пятилинейной лампы свет тяжелый
И сумраком сокрытые углы...»*

За вековую историю наша школа собрала свою летопись. Музей с особым трепетом хранит память о тяжелых годах Великой Отечественной войны и блокады Ленинграда. Школа была на передовой линии фронта, была базой партизанского отряда, была военным госпиталем и не переставала хранить ту память и воспоминание, которое нам оставила в наследие Подольская Валентина Николаевна. И часто наши гости говорят, что в этих стенах «живет история». Валентина Николаевна проработала в школе 40 лет [2].

Учитель – профессия особая, а труд педагога нелегок. 2023 год в России объявлен Годом педагога и наставника, тема учителя актуальна как никогда. Ведь настоящий педагог, как и родитель, играет важнейшую роль в воспитании личности. Учитель, оставивший о себе наиболее яркие воспоминания – Лебедева Валентина Николаевна – Лебедева Валентина Николаевна, учитель географии. Она строгий и требовательный педагог. Она внушала ученикам такое уважение, что было стыдно явиться на урок неподготовленным. В любой ситуации старалась найти компромисс. В 1961 году окончила Ленинградский Государственный педагогический институт имени Герцена, педагогический стаж 61 год. В школу № 337 пришла в 1995 году.



Лебедева Валентина Николаевна
Источник: Архив музея школы «Наследие»

«Настоящий профессионал своего дела. Она знала географию не просто как школьный учитель, а как сам Бог!» – так вспоминает о ней Коган Станислав, участник четырех Антарктических экспедиций.

Лебедева Валентина Николаевна, житель блокадного Ленинграда, в 2020 году была награждена медалью «За заслуги перед Невским районом». Она неравнодушный человек и патриот своей страны.

По решению Администрации Невского района в школе № 337 5 октября 2017 года была установлена мемориальная доска «Подвигу учителей, работавших в блокадном Ленинграде». Это всеобщая благодарность великой благородной профессии и стойким людям, которые совершили невероятный подвиг в это нелегкое время.

Школа за Невской заставой богата не только своим прошлым, но и настоящим:

2005 год – школа авторских технологий;

2006 год – участник Всероссийского конкурса «Лучшие школы России»;

2011 год – победитель конкурса «Лучшее образовательное учреждение Невского

района»;

с 2012 по 2015 год – районная экспериментальная площадка;

с 2017 по 2020 год – региональная экспериментальная площадка по теме: «Формирование у обучающихся навыков эмпатии в образовательном процессе».

По результатам экспертизы конечных продуктов опытно-экспериментальной работы школы № 337 представленные материалы указывают на достаточную содержательную и методическую разработку и комплексный характер, что позволяет говорить о готовности к внедрению в систему образования. Методическое обоснование, содержание занятий и мероприятий, представленные в материалах ОЭР, представляют собой систему практико-ориентированного инструментария, который может быть использован в образовательных учреждениях системы образования Санкт-Петербурга с учетом их специфики.

Школа по праву гордится своими выпускниками. Это выпускник 1934 года – Алексей Васильевич Деев – участник Великой Отечественной войны, заслуженный летчик-испытатель СССР, выпускники 1937 года – Василий Николаевич Осипов, участник Великой Отечественной войны, дважды Герой СССР и Николай Николаевич Захаров – участник Великой Отечественной войны, Герой СССР, выпускник 1989 года – Денис Владимирович Долонский Д.В., Герой Российской Федерации, капитан 1 ранга.



Осипов В.Н.



Захаров Н.Н.



Долонский Д.В.

Источник: Архив музея школы «Наследие»

18 марта 2020 года по решению Санкт-Петербургской топонимической комиссии, школе № 337 было присвоено имя Героя Российской Федерации, кавалера двух орденов мужества, капитана 1 ранга – Дениса Владимировича Долонского [4].

Из стен нашей школы за вековую историю вышли тысячи выпускников, реализовавших себя в различных видах деятельности.

Каронова (Волкович) Татьяна Леонидовна, выпускница 1989 года, д.м.н., доцент, руководитель лаборатории клинической эндокринологии, профессор кафедры внутренних болезней Института медицинского образования НИИЦ им. В.А.Алмазова.

Симонова (Коблякова) Мария Александровна, выпускница 2000 года. Старший научный сотрудник, кандидат физико-математических наук, заместитель заведующего

лабораторией Биомиметических полимерных материалов Института высокомолекулярных соединений РАН с 2005 г. доцент ВШТЭ Санкт-Петербургского государственного университета промышленных технологий и дизайна.

Трушкин Вячеслав Александрович, выпускник школы 2001 года, кандидат ветеринарных наук, работает в системе аграрного образования. Автор 155 печатных работ, среди которых 1 учебник, 2 учебно-методических пособий, 9 патентов на полезную модель и 1 патент на изобретение. Научно-исследовательская работа Вячеслава Александровича направлена на изучение методов диагностики незаразных болезней и терапии сельскохозяйственных и мелких домашних животных. В настоящее время работает доцентом кафедры клинической диагностики и деканом факультета ветеринарно-санитарной экспертизы Санкт-Петербургского государственного университета ветеринарной медицины.

Крылов Алексей Дмитриевич, выпускник 2006 года, автогонщик, обладатель кубка России 2020-2021 г., чемпион России 2022 года.

Терентьева Екатерина Сергеевна, выпускница 2015 года, актриса кино, режиссер.

Память о каждом из них бережно хранится в этих стенах.

Какой бы путь ни выбрали для себя выпускники школы № 337, школа навсегда останется в их жизни ярким стартом. И по сей день, как сто лет назад, в старейшей школе города Санкт-Петербурга звенит звонок и учатся дети.

Если учитель соединяет в себе любовь к делу и к ученикам, он – совершенный учитель. Обуховская школа гордится тем, что профессию – учитель выбирают многие её ученики. Это учителя начальных классов:

Акулич (Яковлева) Елена Викторовна, выпускница 1982 года;

Гамазова (Васильева) Светлана Викторовна, выпускница 1982 года;

Амиличева (Лунева) Вера Юрьевна, выпускница 2008 года;

Вершинина (Ефимова) Любовь Михайловна, выпускница 2013 года;

Герасимова (Цимошенко) Татьяна Вячеславовна, выпускница 2013 года;

Балабаева Диана Андреевна, выпускница 2017 года;

Пояркова (Дунаева) Екатерина Евгеньевна, выпускница 1995 года.

Учителя средней школы:

Добаева (Мягкова) Татьяна Николаевна, выпускница 1969 года, учитель физики;

Андреева (Диброва) Мария Геннадьевна, выпускница 2006 года, учитель информатики;

Владимирова (Кулыба) Олеся Федоровна, выпускница 1996 года, учитель русского языка и литературы;

Стрижнева Любовь Валентиновна, выпускница 1990 года, учитель-логопед.

Быть педагогом – это искусство, врожденный талант, мастерство. Нынешнее поколение учителей достойно продолжает традиции легендарной школы № 337.

Литература

1 Из архивов ЦГИАФ 253, Оп 3 д 1604; ЦГИАФ 1267, Оп 1 д 1685; ЦГИАФ 1267, Оп 15 д 33; ЦГИАФ 1267, Оп 15 д 34

2 Фонд музея «Наследие». ГБОУ школы № 337 Невского района Санкт-Петербурга.

3 Берггольц О.Ф. Поэмы. Первороссийск. – Л.: Лениздат, 1974. – 220 с.

4 Сайт музея истории школы «Наследие», ГБОУ школа № 337 Невского района Санкт-Петербурга. <https://school337.edusite.ru/p224aa1.html>

5 Кондукторова Н.В. Педагогические идеи К.Д.Ушинского в современной системе образования // Образование и воспитание. – 2016. – № 5 (10). – С.3-6.

Шаталов Антон Владимирович – директор, ГБОУ школа № 337 имени Героя Российской Федерации Д.В.Долонского, г.Санкт-Петербург.

Акулич Елена Викторовна – почетный работник общего образования Российской Федерации, учитель начальных классов, заведующий музеем, ГБОУ школа № 337 имени Героя Российской Федерации Д.В.Долонского, г.Санкт-Петербург.

Почтовый адрес: 192012, Санкт-Петербург, проспект Обуховской обороны, дом 257 литер А

TECHNICAL SCHOOL AT OBUKHOVSKY PLANT

The article examines the main periods in the history of the formation and development of GBOU school No. 337 of the Nevsky district of St. Petersburg named after Hero of the Russian Federation D.V. Dolonsky, located on Obukhovskaya Oborony Avenue, 257. The historical and cultural significance of the school building itself, as an architectural monument and object, is shown cultural heritage "Building of a technical school at the Obukhov plant" of the early twentieth century. In addition, the activities of the historical and local history School Museum «Heritage» (Nasledie) are considered through the preservation of the military historical memory of hero graduates, as well as the professional merits of school graduates for the education system of the Nevsky district of St. Petersburg.

Keywords: JSC “Obukhovsky plant”; Technical school; History School Museum «Heritage» (Nasledie); historical memory; military history; alumni heroes; school traditions; education system of the Nevsky district of St. Petersburg

Shatalov Anton Vladimirovich – Principal, GBOU school No. 337 named after Hero of the Russian Federation D.V. Dolonsky, St. Petersburg.

Akulich Elena Viktorovna – Honorary Worker of General Education of the Russian Federation, Primary School Teacher, Head of the museum, School No. 337 named after Hero of the Russian Federation D.V. Dolonsky, St. Petersburg.

**РАДИОНАВИГАЦИЯ
И ВРЕМЯ**

№13 (21) – 2023

Подписано в печать 15.04.2024. Формат 84×108 1/16.
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Объем 15,96 усл. печ. л. Тираж 100 экз. Заказ № 244-2024.

АО «Обуховский завод»
191124, Санкт-Петербург, пр. Обуховской Обороны, дом 120, литера Е.

Отпечатано в ООО «Издательство «Балтийская печать».
191119, Санкт-Петербург, ул. Звенигородская, д. 9-11, лит. К, пом. 17Н, ком. 130.