
Закрытое акционерное общество
«МОСКОВСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ИНСТИТУТ»
(ЗАО «МНИТИ»)

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ

*Серия ТЕХНИКА ТЕЛЕВИДЕНИЯ
научно-технический сборник*

В НОМЕРЕ

Нас поздравляют	3
-----------------------	---

СОДЕРЖАНИЕ

Вилкова Н.Н. Опыт развития (из выступления в Минпромторге России на встрече Председателя Совета Федерации В.И. Матвиенко с женщинами – руководителями предприятий).....	5
Быструшкин К.Н., Вилкова Н.Н. Цифровое телевидение как драйвер «Цифровой экономики России».....	8
Кукк К.И. Экран современного телевизора	15
Назаров С.В. Выбор оптимального варианта системы отображения информации	19
Березанский В.М., Рожков К.Ю. Моделирование оптико-электронных систем авиационных комплексов.....	26
Толочков Д.В. Инфракрасная система обнаружения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов	31
Алимов А.Е., Толочков Д.В. Объектив с дискретным изменением фокусного расстояния.....	35
Барсуков А.Г., Назаров С.В. Параллельные вычисления в системах реального времени	39
Алимов А.Е., Колотовкин С.А., Шавкунов О.В. Телевизионный цифровой автоколлиматор	45
Салата Д.В., Толочков Д.В. Экспериментальная оценка точности стабилизации перспективной озорно-пилотажной системы	49
Ковин С.Д., Сагдулаев Ю.С., Селявский Т.В. Способы формирования сигналов разноспектральных изображений в двухканальных передающих камерах	53
Ковин С.Д., Сухачёв А.Б., Шапиро Б.Л., Селявский Т.В. Оценка эффективности использования нескольких информационных каналов в бортовых оптико-электронных системах мониторинга.....	57
Арзуманян Э.П. Инженерный подход к реализации билинейного интерполятора в системах автосопровождения	61
Ефимов А.В. Традиционные и перспективные методы коррекции нелинейностей в усилителях мощности цифровых телевизионных передатчиков.....	65
Рожков К.Ю. Автоматическое распознавание изображений меток времени при анализе видеотелеметрической информации	71
Сорока Е.З., Филатов В.С. Моделирование процесса формирования изображения оптико-электронными системами видеонаблюдения ИК-диапазона	75
Смагин М.С. Разработка пожарных тепловизоров как перспективное направление импортозамещения и гражданской адаптации военных разработок.....	81
Зубарев Ю.Б. Излучения устройств мобильной связи и их влияние на здоровье человека.....	81
Борис Иванович Преображенский – основатель и первый директор МТФЛ-МНИТИ	90

СОСТАВ РЕДАКЦИОННОЙ КОЛЛЕГИИ

Главный редактор

Н.Н. ВИЛКОВА

Заместитель главного редактора

Ю.Б. ЗУБАРЕВ

Секретарь редакционной коллегии

С.А. ОХОТСКАЯ

Члены редакционной коллегии:

Э.П. Арзуманян

А.Г. Барсуков

В.М. Березанский

В.А. Бухалев

К.Н. Быструшкин

С.Д. Ковин

А.Н. Кошарновский

А.Г. Летяго

В.А. Ломов

С.В. Назаров

Ю.С. Сагдулаев

Е.З. Сорока

А.Б. Сухачев

В.Т. Шабаров

В.И. Шахрай

ТЕХНИКА СРЕДСТВ СВЯЗИ

Серия «Техника телевидения»

2020

Компьютерная верстка – ИП Автущенко А.В.

Дизайн – Н.И. Семячкина

Выпускающий редактор – О.Н. Кулешова

Ответственный за выпуск – С.А. Орлов

АО РИЦ «ТЕХНОСФЕРА»

Москва, ул. Краснопролетарская, д.16, стр.2

Отпечатано в ООО «Юнион Принт»

г. Н. Новгород, ул. Окский съезд, д.2

Тираж 500 экз.



*Уважаемая Надежда Николаевна!
Дорогие друзья и коллеги!*

Примите мои самые теплые поздравления в связи со знаменательной датой в истории предприятия – 70-летним юбилеем со дня его образования!

Более полувека Московский научно-исследовательский телевизионный институт, а с 90-х годов – ЗАО «МНИТИ», выполняет исследования и разработки в интересах обороны и безопасности государства.

В настоящее время ЗАО «МНИТИ» является современным многопрофильным научно-производственным предприятием, обладающим современной производственной и испытательной базой, пользующимся заслуженным авторитетом и уважением не только среди специалистов телевизионной и радиотехнической отрасли, но и среди предприятий и организаций оборонно-промышленного комплекса страны.

Предметом особой гордости предприятия является коллектив единомышленников, обладающий всеми необходимыми компетенциями, подготовленными научными и инженерными кадрами и способный выполнять важнейшие государственные задачи на высоком научно-техническом уровне.

Положительные результаты многолетней деятельности коллектива института в сфере выполнения государственного оборонного заказа, достигнутые успехи в разработке и производстве современных образцов вооружения, военной и специальной техники на основе внедрения передовых телевизионных и других технологий позволяют с уверенностью говорить о том, что ЗАО «МНИТИ» будет и впредь занимать достойное место среди отечественных производителей наукоемкой и высокотехнологичной продукции, являясь примером надежного и добросовестного партнерства, продолжать вносить свой весомый вклад в укрепление обороноспособности страны.

Искренне желаю Вам, руководству, всем сотрудникам и ветеранам института крепкого здоровья, счастья и благополучия, а институту – дальнейшего развития, новых интересных проектов, успехов и удачи в реализации намеченных планов на благо Отечества!

Директор Департамента
формирования государственного
оборонного заказа Правительства
Российской Федерации
Б. Наконечный

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Б. Наконечный".



Дорогие коллеги!

Поздравляю вас и вашу организацию с семидесятилетием со дня образования.

Необходимым условием успешного развития России является сплочение фундаментальной и прикладной наук, дальнейшее развитие микроэлектроники, информационных технологий, интеллектуальных систем обработки информации и совершенствование систем управления.

ЗАО «МНИТИ» как одна из лидирующих организаций страны по разработке и выпуску научноемкой продукции широкого спектра назначения на основе телевизионных технологий успешно вносит свою лепту в укрепление позиций и престижа Российской Федерации на мировой арене. Участие телевизионного института в международных ассоциациях демонстрирует реальные возможности его выхода на мировой рынок.

Считаю важным отметить, что в настоящее время ЗАО «МНИТИ» является одной из немногих организаций Российской Федерации, где успешно развиваются такие фундаментальные направления науки и техники, как распознавание образов и искусственный интеллект. Более того, институт на базе выполненных НИОКР, достигнутого уровня технологии и опыта за

последние пять лет развития создал и нарастил свои научные школы, воспитал профессиональных исследователей и разработчиков интеллектуальных систем машинного зрения.

Особенно радует тот факт, что в организации активно культивируется традиция преемственности поколений. Еще на этапе обучения в колледжах и вузах молодые исследователи, аспиранты и студенты проходят практику в стенах института, набираясь при этом опыта, знаний и практических навыков в коллективе профессионалов.

Искренне желаю успехов всем сотрудникам организации и надеюсь, что традиции ЗАО «МНИТИ» будут способствовать расширению научно-технической деятельности, развитию цифровых телевизионных технологий и укреплению сотрудничества между академическими, учебными и отраслевыми институтами.

Заместитель директора по науке
Российского фонда фундаментальных
исследований, член-корреспондент РАН
И.А. Шеремет

A handwritten signature in blue ink, appearing to read "И.А. Шеремет".



Вилкова Н.Н., к.т.н.

ОПЫТ РАЗВИТИЯ (из выступления в Минпромторге России на встрече Председателя Совета Федерации В.И. Матвиенко с женщинами – руководителями предприятий)

Мне посчастливилось около 40 лет работать в радиоэлектронной промышленности, которая является одной из значимых, быстро развивающихся отраслей мировой промышленности. Электроника за это время прошла несколько поколений в своём развитии: от электронных ламп до сверхбольших интегральных схем.

Более 30 лет я работала на различных руководящих должностях. В период перестройки, предвидя надвигающийся кризис, осуществила перевод института на новые экономические условия, руководила разработкой противозатратных механизмов, современных технологий управления научными организациями. Это позволило облегчить финансово-экономическое положение многотысячного коллектива, избежать неизбежных последствий кризиса, сохранить основных заказчиков научно-технической продукции, а также сформировать коллектив единомышленников, способный решать поставленные задачи в новых условиях.

15 лет назад на общем собрании трудового коллектива единогласно избрана Генеральным директором ЗАО «МНИТИ» – Московского научно-исследовательского телевизионного института. Я считаю, что главная задача руководителя – создать хорошие условия для работы сотрудников. И видеть перспективу, постоянно заниматься развитием.

Наш институт был основан людьми вдохновенными. Они и сейчас для молодежи являются положительными примерами достижений в науке, профессии и жизни.

Меня принимал на работу в возрасте 30 лет директор «МНИТИ» В.Е. Немцов. К столетию со дня его рождения институт помог выпустить в свет его книгу «Моя судьба». Дочери, внучка, вся семья В.Е. Немцова поддерживают и в меру сил помогают институту. Это очень важно: не терять связь поколений. Строки из этой книги я предлагаю нашей молодежи: «Христианство, духовность, исторические корни, любовь к Родине является силой, объединяющей россиян в период тяжелых для России испытаний. И сейчас Россия выживет и поднимется во всю свою ширь».

Развитие телевидения в нашей стране неразрывно связано с деятельностью МНИТИ. К достиже-

ниям института относятся собственные разработки перспективных образцов телевизионной техники, унифицированных моделей чёрно-белых и цветных телевизоров, ретрансляторов, систем отображения информации Центра управления полётом космических аппаратов, изготовленных на отечественной элементной базе. Успешно шло руководство большой кооперацией соисполнителей самых различных профессий при создании первой в мире системы отображения информации высокой чёткости.

В 90-е годы ежегодно производилось более 10 млн телевизоров, созданных на основе базовых моделей МНИТИ.

За прошедший период МНИТИ определена роль головного предприятия Минпромторга России в области телевизионной техники в подготовке и реализации программы перехода России на цифровой формат вещания. Системы управления беспилотными летательными аппаратами, ситуационные центры органов государственного управления и системы регионального вещания являются основной продукцией института. Главным конструкторам ОКР поручаются наиболее сложную и ответственную работу: разрабатывать алгоритмы и программы бортовых систем машинного зрения и т. п.

МНИТИ, являясь предприятием оборонно-промышленного комплекса России, использует лучшие телевизионные технологии при создании специальной техники в интересах обороны и безопасности страны. За значительные достижения в решении оборонных задач шести сотрудникам института Указами Президента России присвоено почётное звание «Заслуженный конструктор Российской Федерации». Это событие, которого не было в институте более 20 лет, оказало огромное воздействие на молодёжь. Возросло внимание к ветеранам и их заслугам, усилился интерес к актуальным проблемам современности.

В институте проводится целенаправленная работа по привлечению к исследованиям и разработкам талантливой молодёжи. С этой целью в МНИТИ 15 лет назад создана и успешно функционирует система подготовки и аттестации научных кадров высшей квалификации, включающая аспирантуру и Совет по защите докторских и кандидатских диссертаций.

Совместно с Российской академией наук проводятся исследования по проблемам распознавания образов и искусственному интеллекту. Труды научной школы института по интеллектуальным системам машинного зрения публикуются в нашей стране и за рубежом. За значительные научные достижения молодые сотрудники МНИТИ за последние годы удостоены стипендии Президента Российской Федерации. Успешно защитились соискатели докторской и кандидатских диссертаций.

В институте проводится эффективная молодёжная политика. Перспективные студенты ведущих вузов привлекаются к исследованиям и разработкам со 2–3 курсов обучения. Затем – интересная работа, учёба в аспирантуре, защита диссертации и принадлежность к научной школе института. Молодёжь объединена Советом молодых специалистов, который организует конкурсы, спортивные соревнования, творческие союзы. Создаются молодые семьи, вырастают семейные династии. Институт по возможности поддерживает молодёжь, да и не только молодёжь. Выделяет дотации на питание, оказывает бесплатное медицинское обслуживание, проводит детские праздники, перед новым учебным годом выплачивает пособия родителям, имеющим детей в возрасте до 16 лет. Не случайно мэр г. Москвы наградил наш институт Дипломом «Лучшее предприятие для работающих мам» в номинации «Семейная политика».

Научно-производственная деятельность института подкрепляется активной работой администрации и профсоюзной организации МНИТИ в социальной сфере. Работают спортивные секции. Организовываются экскурсии для сотрудников института и членов их семей. В институте регулярно проводятся встречи с ветеранами – они всегда почетные гости МНИТИ. Дети сотрудников приглашаются на праздники и детские утренники. Хорошо организован досуг, проводятся КВН. Первичная профсоюзная организация действует для защиты социально-трудовых прав и интересов членов профсоюза и их семей, оказывает материальную и юридическую помощь членам профсоюза.

Работает музей истории Московского научно-исследовательского телевизионного института. Главная задача – сбор и сохранение материалов об истории развития нашего предприятия, документов из личных архивов сотрудников-ветеранов о становлении и развитии телевизоростроения, в которой представлены самые различные модели телевизоров, от КВН-49 до современных. Привлекателен раздел работ МНИТИ, выполненных для нужд медицины и космоса. В экспозиции музея уникальные стенды, рассказывающие о разработках телевизионной и тепловизионной аппаратуры для перспективных образцов авиационной тех-

ники в интересах Министерства обороны РФ.

Средний возраст сотрудников института составляет 47 лет.

Убеждена в том, что универсальных рецептов создания успешного предприятия нет. В каждом регионе страны – свои специфические особенности, в каждой отрасли – свои традиции, проблемы и вызовы. Решать их необходимо, создав сплоченный коллектив, наладив конструктивное взаимодействие с государственными (муниципальными) регулирующими органами, смежными предприятиями и организациями, выстроив партнерские отношения даже с конкурентами в бизнесе.

Именно поэтому мы ведем большую работу, связанную с консолидацией предприятий отрасли. Наглядный пример – объединение ведущих предприятий в профильную Ассоциацию.

Переход от концепций, экспериментальных зон и опытных образцов к началу реального цифрового эфирного телевизионного вещания стало важнейшим событием, поскольку затрагивало интересы всего населения страны.

Появилось множество малых и средних предприятий, занимающихся разработками в области цифрового телевидения. Рынок нуждался в регулировании, а отечественные производители – в поддержке. По инициативе МНИТИ и с одобрения Минпромторга России и Минкомсвязи России образована Ассоциация разработчиков и производителей аппаратуры телерадиовещания, Президентом которой я являюсь. В настоящее время АРПАТ охватывает практически все регионы России и объединяет более 20 предприятий радиоэлектронной промышленности различной формы собственности.

Основные результаты деятельности за последние 5 лет: 85 % отечественных цифровых радиопередатчиков, 60 % антенно-фидерного, измерительного и другого оборудования установлены на сетях наземного цифрового эфирного телевидения, строительство которых закончено ФГУП «РТРС» в 2019 году. Эти показатели, по официальной оценке Минкомсвязи России, являются наиболее весомыми с точки зрения использования современного отечественного оборудования среди всех реализуемых на сегодняшний день федеральных целевых программ по линии этого ведомства. При этом российская радиоэлектронная промышленность обеспечивает конкурентоспособность нашего оборудования в этих сегментах рынка.

Представители АРПАТ вошли в состав рабочей группы экспертов при Правительственной комиссии по развитию телерадиовещания в России.

При участии АРПАТ образован Совет ассоциаций профильных предприятий департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, в который вошли в качестве членов 12 ассоциаций.

ОСНОВНАЯ ПРОБЛЕМА

Переход большинства стран мира на цифровой формат вещания создал условия для бурного развития информационных, телекоммуникационных и телевизионных технологий. В результате чего:

- резко возрастают номенклатура и сложность аппаратных и программных средств техники телевидения;
- ускоряется конвергенция компьютерных, связных и телевизионных технологий.

В Минкомсвязи России разработана «Стратегия развития телерадиовещания в Российской Федерации до 2025 года». Для её реализации и формирования рынка профессионального и абонентского оборудования нового поколения необходимо решение сложнейших научно-технических задач, требующих взаимодействия и синхронизации технической политики всех участников технологической цепочки подготовки, трансляции, приёма и отображения программ цифрового телевидения.

Кроме того, огромные объёмы рынков профессионального и абонентского оборудования цифрового телевидения и поставленная Правительством России задача ускоренного импортозамещения требуют согласованных решений и действий как всех участников рынка, так и государственных органов, ответственных за развитие производства в России.

С учётом этих реалий мы пришли к выводу о необходимости *создания межотраслевого научно-технического совета*, который осуществлял бы координацию работ по цифровому телевидению всех смежных организаций.

Целями работы межотраслевого научно-технического совета являются:

- разработка на основе стратегии концепции развития (*дорожной карты*) телевизионной техники;
- содействие росту локализации телевизионных компаний на российском рынке, от *отвёрточной сборки* перейти к *выпуску продукции* на отечественной элементной базе;
- реализация политики импортозамещения в телевизионном сегменте промышленности посредством нормативно-правового регулирования;
- взаимодействие с Правительственной комиссией по развитию телерадиовещания, стимулированию инновационных работ.

В состав участников Президиума НТС приглашены представители компаний – лидеров отрасли и органов государственной власти, квалифицированные специалисты смежных организаций, представители вещателей и операторов. Нас вдохновляет, что предложение работать в составе Президиума НТС принял Директор департамента радиоэлектронной промышленности *Хохлов Сергей Владимирович* и его преемник *Шпак Василий Викторович*. Мы планируем расширить взаимодействие с Российской академией наук,

ассоциациями и общественными объединениями, не вошедшими в Совет. Предполагаем также расширить международное сотрудничество.

Для русского человека благотворительность – это естественное состояние души. Нужно поддерживать организации, которые занимаются благотворительностью. Например, можно для таких организаций ввести льготы на налог с прибыли.

Считаем необходимым шире привлекать ведущие российские предприятия и организации всех форм собственности к внесению, обсуждению и корректировке законодательных инициатив и действующих законов. Особенно, если они самым непосредственным образом влияют на научно-техническую и финансово-экономическую деятельность предприятий. Бывает, что намерения – благие, а последствия очень тяжёлые.

Мое глубокое убеждение, что только настоящий ученый, мастер, только патриот своего института, Родины может воспитать, вырастить деятельную профессиональную смену. *Сохранение традиций* прошлого – одно из ценнейших принципов развития страны, общества, предприятия.

Надо возродить в стране атмосферу технического творчества, которая господствовала в 60–70-е годы в СССР. Вся молодёжь увлекалась радиоэлектроникой: читали журналы «Радио», выпуски «В помощь радиолюбителю», справочники по электронным компонентам. Наиболее активные создавали домашние радиостанции, вступали в союзы радиолюбителей, устанавливали сеансы радиосвязи. Ремонтировать телевизоры умели в каждой деревне.

Любая сфера деятельности, любой успех в науке, в экономике, в бизнесе не возможен без высокой идеи. Объектом массового творчества в наше время могла бы стать беспилотная и малая авиация. Нужно только создать условия и снять ограничения.

Роль директора неоценима в процессе консолидации, образовании, воспитании на лучших традициях. На тех принципах, которые являются национальной идеей страны. Этим мы – руководители должнывести коллектив.

Выражают твёрдую уверенность, что консолидация усилий научных, производственных коллективов, пользователей телевизионной техники при поддержке правительственные структур и общественных организаций позволит и впредь решать сложные и важные проблемы в инновационном развитии страны и укреплении обороноспособности государства.

*Вилкова Надежда Николаевна,
к.т.н., генеральный директор ЗАО «МНИТИ»,
Заслуженный работник связи и информации
Российской Федерации,
Заслуженный экономист Российской Федерации*



*Быструшкин К.Н., к.т.н.
Вилкова Н.Н., к. т. н.*

ЦИФРОВОЕ ТЕЛЕВИДЕНИЕ КАК ДРАЙВЕР «ЦИФРОВОЙ ЭКОНОМИКИ РОССИИ»

Сегодня развитие России происходит в крайне непростых условиях, вызванных резким обострением международной обстановки и введением технологических и экономических санкций против нашей страны. Мы стоим на пороге нового витка гонки вооружений, что потребует значительно увеличить выпуск современных образцов ВО и ВТ с привлечением значительных бюджетных средств за счет других отраслей экономики. Вместе с тем Президентом России перед предприятиями ОПК поставлена задача освоения в короткие сроки высокотехнологичной гражданской продукции, доля которой в течение нескольких лет должна составить до половины всей выпускаемой продукции. Наконец, мы столкнулись с новыми технологическими вызовами, обязанными бурному развитию новейших информационных технологий, таких как Искусственный интеллект, квантовые компьютеры, технологии «умного города» и «умных» девайсов и устройств, объединенных в сети «Интернета вещей» на основе технологий мобильной связи пятого поколения 5G, «облачных» технологий и технологий Big Data и т. д. Очевидно, что для того, чтобы в этих условиях компания сохраняла конкурентоспособность и была успешной на рынке, необходимо иметь хорошо продуманную стратегию развития и ресурсы для ее осуществления на ближайшие 5–10 лет.

ЗНАНИЯ ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

В общих чертах облик технологического будущего страны описан в национальном проекте «Цифровая Экономика России» и в «Стратегии развития электронной промышленности Российской Федерации на период до 2030 года», которая была утверждена распоряжением Правительства РФ от 17 января 2020 года № 20-р. Согласно этим документам Россия должна в исторически короткие сроки совершить настоящий технологический прорыв и выйти на самые передовые рубежи в мире в области цифровизации экономики, робототехники и беспилотного транспорта, интеллектуальных информационных сетей на основе квантовых компьютеров и нейросетей с использованием технологии BIG DATA. Мы будем жить в умных и безопасных городах в комфортных домах, в которых все устройства «умного дома» будут объединены в общие сети «Интернета вещей».

Так как ЗАО «МНИТИ» является головной научной организацией по направлению «Цифровое

телевидения», экспертами института проводятся аналитические исследования и разрабатываются технологические «Дорожные карты» развития телевидения и других телекоммуникационных технологий, в которых нашли отражения все упомянутые выше тенденции и технологические тренды.

Эта работа чрезвычайно важна, так как эти технологии являются базовыми практически во всех областях современной радиоэлектроники и информационных систем как гражданского, так и военного назначения. Например, технологии «искусственного интеллекта» широко используются не только в «умных телевизорах», но и при создании беспилотного транспорта, в том числе разведывательных и ударных БПЛА и боевых роботов. Алгоритмы распознавания речи и анализа «на лету» в режиме реального времени огромных массивов данных Big Data позволяют создавать не только инфраструктуру «Умного города» и службы управления «умными дорогами», но и интегрированные системы управления «Электронного поля боя» и экспертные системы контроля мобильной связи и социальных сетей в Интернете. Системы отображения информации и дисплеи с большими экранами в варианте исполнения Military отличаются от коммерческих версий по большому счету только повышенной устойчивостью к внешним воздействиям и, в частности, расширенным температурным диапазоном. Про микросхемы цифровых микропроцессоров и памяти и говорить не приходится, так как сегодня общегражданские СБИС по своим возможностям и архитектуре, как правило, на поколение (а то и два) опережают военные чипы, которые значительно более консервативны. И этот список можно продолжать до бесконечности, так как сегодня практически нет «гражданских» и «военных» электронных и телекоммуникационных технологий. Все они могут с равным успехом использоваться и на «гражданке», и в военном деле.

Поэтому трудно переоценить значение научно-технических компетенций «гражданского сектора» радиоэлектронной промышленности, так как они зачастую являются передовой технологической платформой нового поколения ВТ и ВО. Тем более, что в условиях технологических санкций и эмбарго на поставку новых технологий в Россию научно-техниче-

ское сотрудничество в гражданском секторе пока не так строго регламентируется. Поэтому партнерство в секторе гражданских технологий является важным фактором вовлечения отечественных специалистов в международную научно-техническую кооперацию и их доступа к новейшим технологиям.

В качестве примера такого успешного партнерства можно привести российско-китайскую рабочую группу по радиоэлектронике. ЗАО «МНИТИ» является активным ее участником и в 2018–2019 гг. и вместе со своими российскими партнёрами подготовило целый ряд совместных проектов в области разработки перспективных систем цифрового телевидения 3-го поколения (рис. 1). Партнером института с китайской стороны выступает Университет Цинхуа (г. Пекин), который участвует в разработке новейшей китайской системы цифрового телевидения AIB (Advanced Interactive Broadcasting), в которой должны быть использованы самые передовые на сегодняшний день технологии и технические решения.



Cooperation JSC MNITI and Tsinghua University in the field of Integrated communication and broadcasting networks

24-26 June 2019 , Saint-Petersburg , Russia

Рис. 1. Титульный лист совместной презентации ЗАО «МНИТИ» и университета Цинхуа на IV заседании российско-китайской рабочей группы в Санкт-Петербурге

Так как ЗАО «МНИТИ» является членом международной ассоциации FOBTM (Future Of Broadcast TV), его представители участвуют в заседаниях «face to face» технического комитета Ассоциации, на которых обсуждаются особенности технологий и текущее состояние разработки систем цифрового телевидения 3-го поколения в Европе (DVB-next), США (ATSC-3) и Китая (AIB), а также системы цифрового вещания в сетях 5-го поколения 5G Broadcasting до 2025–2030 годов.

На последнем заседании FOBTM 15 сентября 2019 года на выставке IBC-2019 представитель китайского национального инженерно-исследовательского центра NERC DTV (National Engineering Research Center of Digital Television) сделал сенсационный доклад о начале разработки принципиально новой телевизионной системы AIB (Advanced Interactive Broadcasting).

Как известно, в Китае в 2020 году завершается перевод аналогового эфирного телевидения на циф-

ровой формат DTMB. При этом китайские специалисты в рамках FOBTM активно участвуют в разработке новых технологий, которые с успехом были использованы в зарубежных стандартах цифрового телевидения нового поколения. В частности, американской ATSC-3.

Созданный опережающий научно-технический задел позволил национальной администрации телевидения Китая (NRTA) 20 апреля 2018 года поставить задачу создать рабочую группу из представителей промышленности и научно-исследовательских институтов для разработки нового поколения китайской системы цифрового телевидения AIB (Advanced interactive Broadcasting), в которой должны быть использованы самые передовые на сегодняшний день технологии и технические решения (рис. 2). Помимо китайских компаний NERC DTV, Huawei, ZTE и Шанхайского Университета, в «сборную Китая» по цифровому телевидению вошли зарубежные «легионеры». Среди них Qualcomm, Samsung, Nokia и Ericsson.

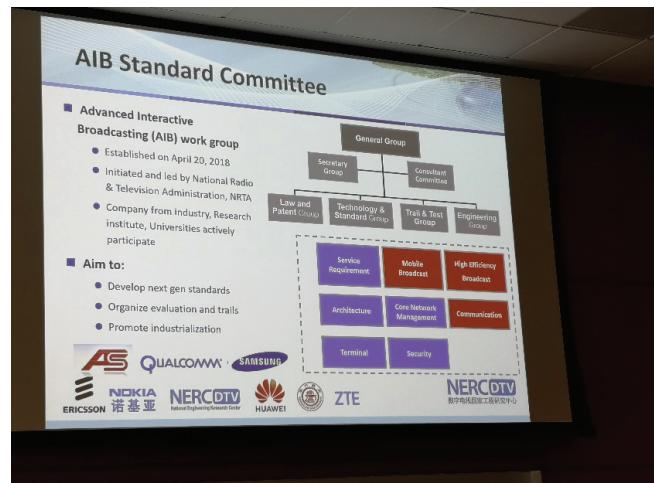


Рис. 2. Рабочая группа по разработке китайской системы цифрового телевидения

Участникам группы поставлена задача не только разработать стандарты нового поколения, но и обеспечить постоянный мониторинг развития технологий в мире, чтобы оперативно включать в него самые «горячие» новинки. Причем сроки разработки и внедрения стандарта AIB очень жесткие (рис. 3), так как китайцы планируют организовать в этом стандарте вещание Олимпийских Игр в 2022 году.

Для того чтобы успеть это сделать, технические спецификации AIB и их тестирование должны быть закончены в 4 кв. 2020 года, а в 2021 году разработаны чипы и изготовлены образцы оборудования.

Таким образом, китайская школа ученых и разработчиков систем цифрового телевидения на сегодня является одной из самых передовых в мире. Отрадно, что в рамках FOBTM и российско-китайской рабочей группы по радиоэлектронике с ними удалось устано-

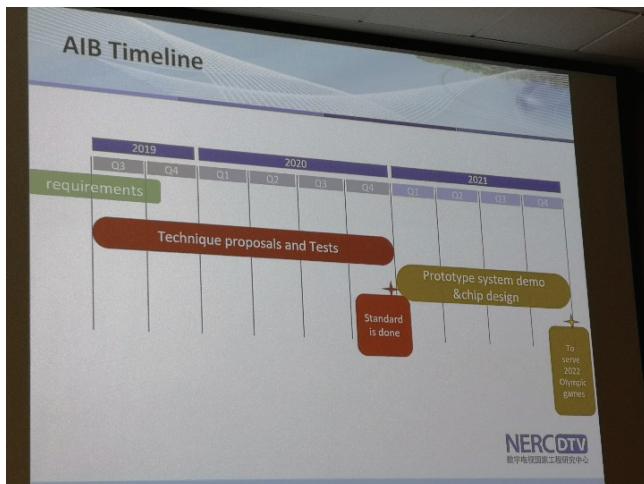


Рис. 3. Дорожная карта разработки и внедрения стандарта AIB

вить эффективное научно-техническое сотрудничество. В частности, планируется, что на заседании исследовательской группы 6 ITU-R (Международный союз электросвязи) в Женеве 5–8 февраля 2020 года китайская делегация поддержит два вклада российской стороны по отечественной системе мобильного мультимедийного вещания RAVIS. В свою очередь российская делегация поддержит подготовленный Университетом Цинхуа вариант Рекомендации ITU-R по системе цифрового телевидения 2 поколения.

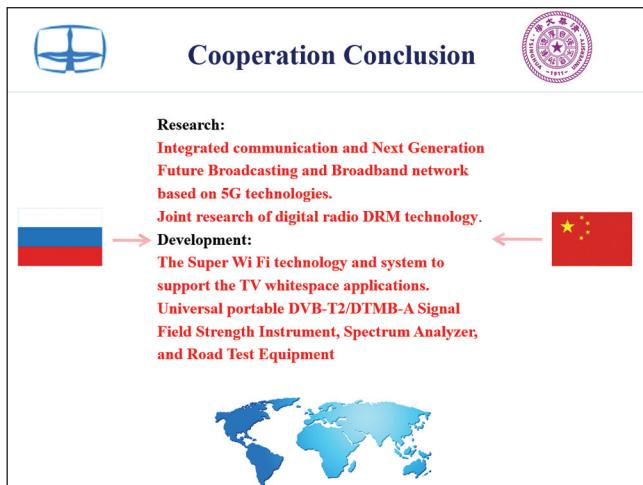


Рис. 4. Направление сотрудничества в рамках российско-китайской рабочей группы

Таким образом, благодаря участию в международных альянсах специалисты ЗАО «МНИТИ» обладают самой оперативной и достоверной информацией о новейших разработках технологий цифрового телевидения в ведущих зарубежных странах. Так как институт возглавляет ассоциацию АРПАТ и межведомственный научно-технический совет по цифровому телевидению НТС ЦТ, члены этих объединений через представителей ЗАО «МНИТИ» также включены в международную научно-техническую кооперацию.

«ВЛАСТЕЛИНЫ МИРА» – ТЕХНОЛОГИИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

В качестве примера выполняемых в институте аналитических исследований перспективных технологий кратко рассмотрим состояние и основные тренды развития на ближайшие годы цифрового телевидения. Как мы уже отмечали выше, эта информация может быть использована предприятиями радиоэлектронной отрасли при разработке широкого спектра продукции гражданского и военного назначения, в том числе программ диверсификации бизнеса.

Согласно разработанной аналитиками ЗАО «МНИТИ» технологической «Дорожной карте» развитие телевидения при горизонте планирования 5–10 лет радикально изменит мир — мы будем смотреть изображения на сверх чётких огромных экранов (в перспективе оно вообще станет объемным и многоярусным (голографическим)) с интерактивными голосовыми помощниками. Телевизоры Smart TV с такими экранами станут составной частью «Умного дома» с искусственным интеллектом, кругом будет беспилотный транспорт и человекообразные роботы, и виртуальные образы людей (Аватары). Виртуальная и дополненные реальности (VR и AR) обеспечат невиданный ранее эффект присутствия зрителей и откроют новую эру не только в индустрии развлечений, но и образования, культуре, а также промышленности и создании тренажеров нового поколения. Чтобы это стало реальностью во всем мире, идут интенсивные научные исследования и разработки по широкому фронту направлений науки и техники.

Согласно прогнозам, одной из ключевых технологий всех этих технических чудес станет «искусственный интеллект» (ИИ, в английской транскрипции — AI — artificial intelligence). Прежде всего определим, где же проходит грань между просто «умной» техникой и техникой с искусственным интеллектом. Ныне большинство специалистов, работающих в области интеллектуальных компьютерных систем, пришли к консенсусу о том, что «искусственный интеллект» — это способность системы или устройства самообучаться и решать творческие задачи. Плюс умение распознавать речь человека и вести с ним осознанный диалог. Что до недавних пор было исключительной прерогативой «человека разумного». И вот теперь с появлением Siri от Apple, Alexa (Amazon) и, наконец, российской Алисы (Yandex) и других голосовых помощников и ассистентов, эта человеческая монополия на речевое общение стремительно рушится.

Несмотря на то что первые такие помощники появились совсем недавно — в 2014 году, они очень быстро «умнеют» и очеловечиваются. Наша Алиса, например, не лишена чувства юмора и, как отмечается на сайте Bestfree.ru, умеет даже подшутить над собе-

седником. В зависимости от своего «настроения» (!) может даже начать его слегка троллить (!!).

Столь впечатляющий прогресс связан в первую очередь с высоким техническим уровнем современных многоядерных цифровых процессоров, имеющих колоссальные вычислительные мощности. Что, в свою очередь, позволяет устанавливать на них все более совершенные и «тяжелые» программы анализа и распознавания речи. Которые не требуют предварительного обучения и практически безошибочно распознают слова на различных языках. А ведь еще сравнительно недавно, лет 15 назад, программы, предназначенные для автоматического распознавания речи с микрофона и перевода ее в текстовый файл (типа отечественного «Змея Горыныча»), непременно требовали сначала их «откалибровать» (обучить) под каждого «диктора».

С появлением «умных» телевизоров Smart TV в 2010 году, которые через сеть Интернет позволяют в интерактивном режиме осуществлять поиск видео-программ и кинофильмов в информационных сетях, задача оптимизации интерфейса «зритель – телевизор» становится все более актуальной.

SMART TV – «ТЕЛЕВИЗОР РАЗУМНЫЙ»

Долгое время телевизоры могли только принимать и показывать цветные и черно-белые телевизионные программы, получаемые по сетям эфирного и кабельного телевидения. Затем они научились отображать видео и звуковые сигналы от подключенных к ним бытовых видеомагнитофонов и игровых телевизионных приставок. С появлением в конце 70-х годов системы «Телетекст» телевизор становится уже не просто монитором, но и простейшей информационной системой. Которая позволяла зрителям самим выбирать и отображать на экране телевизора дополнительную текстовую и графическую информацию: программы телепередач, курсы валют, прогноз погоды, театральные премьеры, расписание поездов и электричек и т. д. Поэтому, наверное, именно с появлением этой технологии можно говорить о том, что телевизоры начали понемногу «умнеть» (рис. 5). То есть помимо своего прямого назначения – показывать телевизионные программы, все больше становятся многофункциональным информационным порталом для зрителя.

Однако, так как информация Телетекста передавалась только во время кадровых (система SECAM) или строчных (PAL, NTSC) гасящих импульсов, ее объем был невелик и позволял отобразить на экране телевизора всего несколько сотен страниц текста. Значительно большие возможности для передачи по телевизионному каналу дополнительных данных появились с переходом телевидения на цифровой формат вещания. Принятая в системе DVB концепция

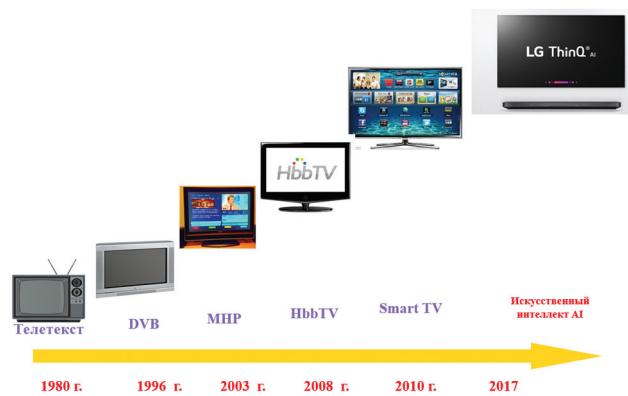


Рис. 5. «Дорожная карта» развития «умных функций» в телевизорах

«универсального цифрового контейнера» позволяет передавать в блоках транспортного потока MPEG-2 TS не только цифровое видео и звук, но и любые другие данные. В том числе из сети Интернет после инкапсуляции файлов IP в формат MPEG-2 TS.

На практике этот принцип был реализован в концепции интерактивной домашней мультимедийной платформы МНР (Multimedia Home Platform). Согласно концепции приложения МНР доставляются зрителям по каналу вещания вместе с аудио- и видеопотоками, а также по дополнительным каналам передачи IP. В качестве приложений могут быть интерактивное голосование, электронная почта, SMS или покупки. Несмотря на то что к 2010 году системы DVB-МНР были развернуты в Италии (DVB-T), Корее (DVB-S), Бельгии (DVB-C) и Польше (DVB-S), а также тестировались в Германии, Испании, Австрии, Колумбии, Уругвае и Австралии, широкого распространения она не получила. Так же, как и появившаяся в 2009 году система гибридного телевидения HbbTV (Hybrid Broadcast Broadband Television).

Гибридной она называется потому, что, как и в МНР, зритель получает информацию как по каналу цифрового телевизионного вещания (Broadcast), так и по подключенному к телевизору с функцией HbbTV каналу широкополосного доступа в сеть Интернет (Broadband). Это позволяет организовать множество дополнительных информационных сервисов прямо во время просмотра телевизионной программы, например, голосование зрителей во время песенных конкурсов. Упрощенно говоря, HbbTV дает зрителям интерактивный доступ к специализированному серверу, с помощью которого обеспечивается функциональность системы. В России с 2018 года активным продвижением технологии HbbTV занимается «1 канал», который транслирует в этом формате свои популярные программы «Голос» и «Кто хочет стать миллионером». По имеющимся сведениям, это в немалой степени способствовало росту зрительской аудитории указанных передач.

Популярное сегодня «умное телевидение» Smart TV также явилось дальнейшим развитием идей платформы МНР и позволяет владельцам таких телевизоров получить интерактивный доступ к огромным массивам видео/звуковой информации на смарт-порталах компаний-изготовителей. Эта технология активно развивается, и с каждым годом Smart TV становится все удобнее и совершеннее. Казалось бы – чего еще желать? Зрителям, может быть, и ничего. Но зато производителям телевизоров требуются все новые и новые драйверы рынка, которые бы заставили население заменить имеющиеся у них и прекрасно работающие «старые» телевизоры на новые. Такими драйверами сегодня, как известно, является ультра-высокая четкость UHDTV (4K и даже 8 K) с технологией HDR, новые типы экранов, окружающий звук Dolby Atmos и т. д. Однако все эти технологические новшества являются привлекательными далеко не для всех владельцев телевизоров. Поэтому поиск новых «убийческих предложений» (Killer application), которые бы, наконец, заставили зрителей купить новый телевизор, активно продолжается.

Прежде всего, это дальнейшее совершенствование систем управления телевизором при помощи голосовых команд. При этом разработчики LG упор делают на развитие связанных с просмотром программы информационных сервисов. Например, при просмотре передачи про Китай зрители могут поинтересоваться, какая там сегодня погода и какие фильмы наиболее популярны у китайских зрителей. И умный телевизор тут же выдаст необходимую справку. А в компании Samsung считают, что для того, чтобы их «интеллектуальный» телевизор лучше понимал, что хочет от него зритель, телевизор должен его ненавязчиво «протестировать» с помощью наводящих вопросов. По итогам «интервью» система ИИ телевизора решает, какие программы лучше всего предложить зрителю. Это в форме двухстороннего диалога сделает встроенный в телевизор интеллектуальный помощник.

Таким образом, вторым важнейшим элементом ИИ сезона 2020 года станут встроенные экспертные системы и голосовые интеллектуальные помощники, которые должны сделать максимально комфортным поиск информационных программ для каждого зрителя. Причем по мере обучения их рекомендации будут все больше соответствовать зрительским предпочтениям. Если зритель сам не может их сформулировать, то за него это сделает ИИ телевизора.

Еще один явный тренд — интеллектуальная обработка видеосигналов, адаптивная не только к особенностям технологии экрана телевизора (LED, OLED или QLED), но и учитывающая параметры воспроизведимой картинки. Например, глубокая проработка темных областей изображения для улучшения воспро-

изведения теней и градаций серого. В связи с широким распространением телевизоров UHDTV 4K (и даже 8K) все более актуальной задачей становится корректное преобразование в эти форматы программ SDTV и UHDTV. Задача еще более усложняется при наличии в кадре быстро перемещающихся объектов. Не даром ведь разработаны разные типы алгоритмов (например, «Спорт» или «Футбол»), позволяющие оптимизировать выполнение up scale преобразования.

Не менее актуальна и прецизионная обработка звукового сопровождения. Особенно в свете тенденции улучшения качества встроенных в телевизоры акустики и цифровых усилителей. Опыт показывает, что «умная» обработка звука может значительно его улучшить. В качестве примера приведем встроенную в OLED телевизоры LG функцию Magic Sound Tuning, позволяющую настроить (откалибровать) их звуковой тракт под акустические особенности любого помещения. При активации этой функции телевизор последовательно издает ряд тестовых звуковых сигналов, а для измерения акустического отклика помещения остроумно используется встроенный в пульт ДУ Magic Remote микрофон. После калибровки с использованием интеллектуальных цифровых алгоритмов качество звукового сопровождения действительно заметно улучшается. Особенно в части объемности звуковой панорамы.

Ну и, наконец, еще один важный тренд — интеграция телевизоров с ИИ в экосистемы «умного дома» и Интернета вещей IoT. При этом именно телевизор как центр «умного дома» по сравнению с другими его устройствами обладает целым рядом бесспорных преимуществ:

1. Большой и яркий экран телевизора, который позволяет наиболее наглядно выводить на его «рабочий стол» всю информацию о состоянии систем «умного дома».

2. Встроенный мощный многоядерный процессор. Причем, в отличие от смартфонов и планшетов, у него нет жестких ограничений по энергосбережению и использованию «тяжелых» энергоемких вычислительных алгоритмов.

3. Полный набор проводных и беспроводных цифровых интерфейсов для подключения «умных» устройств, «быстрый» выход в Интернет.

4. Наличие развитого ПО и встроенной экспертной системы «интеллектуального помощника» делает управление «умным» домом с помощью голоса максимально простым и комфортным.

Упомянутые тренды являются общими для телевизоров с ИИ у всех производителей. Тем не менее, естественно, у каждого из них есть свои особенности и приоритеты. У компании LG, например, это интеллектуальная платформа ThinQ (рис. 6) для «умного» дома с системой «искусственного интеллекта»

AI ThinQ на основе процессора α9 Gen.2 (серии телевизоров Z9, W9, E9, C9). (Новейшие модели 2020 года будут использовать процессор α9 Gen.3).

Основными ее особенностями являются:

1. Технология распознавания речи, не требующая обучения.

2. Простой доступ к контенту и сервисам — телевизор слушает запрос и обдумывает ответ на него.

3. «Умный телевизор» сканирует различные медиа и сам предлагает набор источников запрашиваемой информации.

4. Возможность получения в интерактивном режиме дополнительной информации по голосовому запросу.

5. Подключение и управление «умными» устройствами в доме по технологии ThinQ.

6. «Интеллектуальная» адаптация звука и изображения в зависимости от типа контента и условий его просмотра.

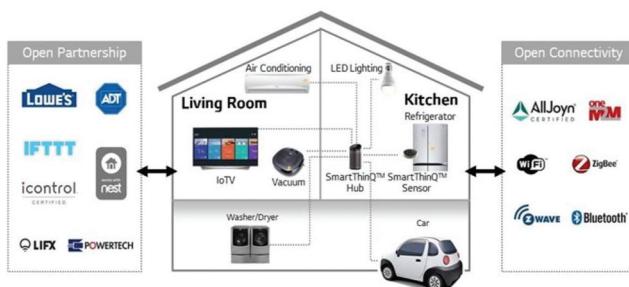


Рис.6. Интеллектуальная платформа ThinQ

У не менее знаменитого «корейца» Samsung свои приоритеты. Развитие «интеллектуальных» телевизоров этой компании будет идти по следующим направлениям:

1. *Развитие отношений с партнерами, еще больше контента.*

Samsung расширяет сеть партнеров компании. В марте вступит в силу партнерство с Apple, благодаря которому владельцы аппаратуры Samsung (включая Smart TV модельного ряда 2019/2020 годов) с использованием технологии Airplay 2 смогут напрямую транслировать контент с устройств на платформе iOS: iPhone, iPad, а также с компьютеров Mac.

2. *Интеллектуальный поиск контента.*

Начиная с 2019 года телевизоры Samsung с ИИ оснащаются усовершенствованным универсальным гидом (Universal Guide). Который анализирует предпочтения пользователя и его зрительские привычки, после чего дает персональные рекомендации, а затем и подбирает контент с их учетом. Важным элементом этой технологии станет новый голосовой помощник Bixby. Это платформа ИИ, которая задает зрителю интуитивно понятные вопросы и узнает информацию о его предпочтениях, на основе которых фор-

мулирует осознанные рекомендации о том, что стоит посмотреть.

3. *Подключение в масштабах всего дома.*

Телевизоры Samsung — 2019/2020 на платформе Smart Things изначально разработаны как центр «умного» дома. Эта платформа объединяет все устройства в доме и позволяет управлять ими как комплексной экосистемой Интернета вещей (IoT). При этом пользователи сами могут творчески создавать сценарии автоматизации для управления устройствами дома, например, в зависимости от времени суток, статуса устройств или местонахождения членов семьи. Так, кондиционер программируется на самостоятельное отключение при открытии окон, а смартфон — на дистанционное включение света, когда по сигналу GPS он понимает, что владелец приближается к дому.

Как видим, возможности новых телевизоров с ИИ действительно впечатляют. По сравнению с «простыми» Smart TV они обладают рядом важных преимуществ:

1. У владельцев телевизоров с ИИ появится доступ к контенту на других платформах, а не только имеющемуся на «родных» смарт-порталах. Как яркий пример этого тренда — партнерские программы Samsung с Apple.

2. Базы данных об абонентах и интеллектуальные платформы поиска контента с предоставлением персональных рекомендаций пользователям открывают принципиально новые горизонты для владельцев контента и рекламодателей.

3. Использование метаданных в видео программах позволит повысить эффективность поиска связанного контента и создания еще более совершенствованных алгоритмов для голосовых ассистентов.

4. Синергия с телевизорами ИИ может значительно увеличить продажи «умных» устройств IoT и ускорить внедрение технологий «умного дома».

5. «Очень умные» телевизоры могут способствовать возврату части зрительской аудитории к активному телесмотрению, в том числе молодежи.

ЗНАНИЕ – СИЛА

Ну а теперь вернемся к вопросам, поставленным в начале этой статьи. Для того чтобы сохранить свое «место под Солнцем» в стремительно меняющемся мире, нужно постоянно развивать технологический уровень компаний, в том числе технологии «искусственного интеллекта». Президент России В.В. Путин в одном из своих недавних выступлений очень образно сказал: «Кто владеет искусственным интеллектом — тот владеет миром».

Предложенная ЗАО «МНИТИ» стратегия развития компетенций в гражданских областях электроники с последующим использованием полученных знаний и информации в других направлениях дея-

тельности института, я уверена, скоро принесет свои плоды. Тем более, что в соответствии с социальным запросом со стороны руководства России, мы планируем в перспективе освоение высокотехнологичной гражданской продукции, в том числе в кооперации с нашими российскими и зарубежными партнёрами.

Для этого есть хорошие стартовые условия, так как ЗАО «МНИТИ» является бесспорным технологическим лидером в области телевизионных технологий в России. Институт имеет не только богатые традиции и огромные заслуги перед отечественной телевизионной отраслью, но и находится в прекрасной форме и расцвете своих творческих возможно-

стей. В институте работает исключительно сильный и талантливый коллектив ученых и разработчиков телевизионной аппаратуры, что позволяет ему с уверенностью смотреть в будущее.

*Быструшкин Константин Николаевич,
к.т.н., заместитель генерального директора*

*Вилкова Надежда Николаевна,
к.т.н., генеральный директор ЗАО «МНИТИ»,
Заслуженный работник связи и информации
Российской Федерации,
Заслуженный экономист Российской Федерации*



Кукк К.И., д. т. н., профессор

ДИСПЛЕЙ СОВРЕМЕННОГО ТЕЛЕВИЗОРА

Наибольшее распространение в настоящее время получили дисплеи телевизоров на основе использования регулярных матриц электрически изменяемых, дискретных элементов изображения (пикселей) в строках и столбцах. В статье кратко рассмотрено построение плазменных, жидкокристаллических, светодиодных, а также на основе технологии квантовых точек дисплеев. Приведены их характеристики и перспективы использования. Отмечается, что в Российской Федерации отсутствует производство современных телевизионных дисплеев. Предлагаются пути промышленного воссоздания этого направления отечественной электронной техники.

Ключевые слова: дисплей, матрица, жидкокристаллический, светодиод, OLED, QLED.

ВВЕДЕНИЕ

Дисплей телевизионного приемника является его важнейшей составной частью, на нем отображается принимаемая видеинформация. Со времен Бориса Розинга и почти до конца прошлого столетия в качестве дисплея телевизора использовалась электронно-лучевая трубка (ЭЛТ). Применительно к телевизору такая ЭЛТ широко именуется как кинескоп. В ходе естественного перманентного совершенствования ЭЛТ наиболее значимой модернизацией был переход, начиная с 50-х годов, от черно-белого дисплея к цветному.

В настоящее время кинескопы практически полностью вытеснены плоскими или изогнутыми дискретными дисплеями различного размера в зависимости от назначения. Под дискретным дисплеем понимается некая поверхность, состоящая из регулярной матрицы электрически изменяемых, дискретных элементов изображения (пикселей) в строках и столбцах. Современные дискретные дисплеи выполняются на различных физических принципах и отличаются также разнообразными технологическими особенностями изготовления, во многих случаях характерными для конкретного изготовителя.

ПРИНЦИПЫ РАБОТЫ СОВРЕМЕННЫХ ДИСПЛЕЕВ

Вначале на смену ЭЛТ пришли газоразрядные и жидкокристаллические дисплеи. Первый прототип плазменного дисплея был разработан в Илли-

нойском университете в 1964 г. Плазменная панель — это матрица газонаполненных ячеек, расположенных между двумя параллельными стеклянными пластинами. Внутри расположены электроды, шины сканирования, адресации и подсветки (рис. 1). Субпиксели имеют размеры 200×200×100 мкм. Ячейки заполняются газами (неон, ксенон, гелий, аргон), иногда с добавлением ртути. Управление осуществляется по строкам и столбцам.

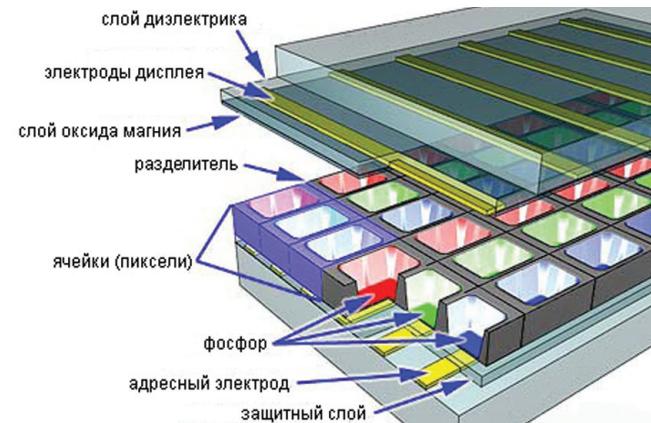


Рис. 1. Плазменный дисплей

При подведении к электродам высокочастотного напряжения начинается ионизация газа, или образование плазмы. В плазме происходит емкостной высокочастотный разряд, приводящий к ультрафиолетовому излучению, которое, в свою очередь, вызывает свечение зеленого, красного или синего люминофора. Плазменные дисплеи обладают высокой контрастностью и большим сроком службы. Однако технологии плазменных дисплеев себя полностью исчерпала в основном из-за возможностей по разрешающей способности. При современной тенденции перехода к телевидению сверхвысокой четкости следует ожидать, что изготовление плазменных дисплеев будет носить заказной характер для каких-либо специальных целей.

Наибольшее распространение в настоящее время получили дисплеи на основе жидкокристаллов (LCD). Первый жидкокристаллический (ЖК) монохромный дисплей был разработан на фирме RCA в 1970 г. Цветной ЖК-дисплей с диагональю 3 дюйма был создан в 1987 г. фирмой Sharp. ЖК-дисплеи основаны на применении вещества (цианофенил),

которое находится в жидком состоянии, но при этом обладает некоторыми свойствами, присущими кристаллическим телам. Это жидкости, обладающие анизотропией свойств (в частности, оптических), связанных с упорядоченностью в ориентации молекул. Такие дисплеи используют явление поляризации светового потока. Кристаллы-поляроиды способны пропускать только ту составляющую света, вектор электромагнитной индукции которой лежит в плоскости, параллельной оптической плоскости поляроида. Для оставшейся части светового потока поляроид будет непрозрачным. Эти аморфные вещества за их схожесть с кристаллическими веществами по электрооптическим свойствам, а также за способность принимать форму сосуда, назвали жидкими кристаллами.

Общим для всех ЖК-дисплеев является матрица, имеющая слой с ячейками жидких кристаллов, способных менять свои характеристики светопропускания и задняя подсветка. Многоцветное изображение образуется за счет RGB-триад (рис. 2).

Схема строения ЖК-панели типа TN

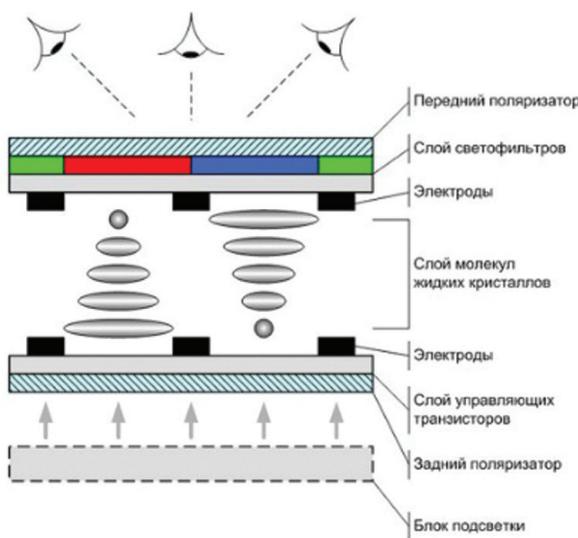


Рис. 2. Построение RGB-триады ЖК-дисплея

В составе ЖК-матрицы имеются строчные и столбцовые драйверы, которые обеспечивают управление конкретными ячейками. При выборе строки и столбца используется напряжение различной полярности. Это исключает явление гидролиза и диссоциации сложных органических соединений, из которых состоит ЖК-материала при протекании тока одного направления. Подавляющее число ЖК-дисплеев выполняется с активной матрицей, в которой используются тонкопленочные транзисторы (TFT). Каждый пиксель матрицы оснащен тремя транзисторами, что позволяет повысить качество воспроизведенного изображения. За последние 20 лет существования ЖК-

дисплеев в них было внесено предприятиями-изготовителями (Hitachi, NEC, Fujitsu, Samsung и др.) большое число схемных и технологических усовершенствований, что позволило повысить качественные показатели дисплеев, увеличить их размеры и снизить цены.

В 1977 г. был предложен первый монохроматический светодиодный дисплей для телевизоров. В светодиодном дисплее (LEDscreen, display) пикселям является один или несколько светодиодов. После появления достаточно ярких цветных светодиодов появились цветные LED-телевизоры (рис. 3).

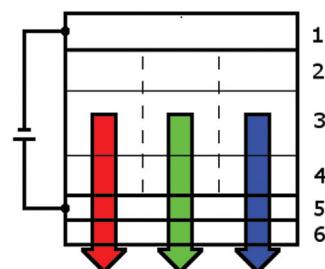


Рис. 3. Органический светодиод. 1 — катод (-), 2 — эмиссионный слой, 3 — испускаемое излучение, 4 — проводящий слой, анод (+)

Дисплеи, использующие светодиоды из органических соединений, излучающих свет при прохождении через них электрического тока, называются OLED-дисплеями. Для создания органических светодиодов (OLED) используются тонкопленочные многослойные структуры, состоящие из слоев нескольких полимеров. При подаче на анод положительного относительно катода напряжения поток электронов протекает через прибор от катода к аноду. Таким образом, катод отдает электроны в эмиссионный слой, а анод забирает электроны из проводящего слоя или, другими словами, анод отдает дырки в проводящий слой. Эмиссионный слой получает отрицательный заряд, а проводящий слой — положительный. Под действием электростатических сил электроны и дырки движутся навстречу друг к другу и при встрече рекомбинируют. Это происходит ближе к эмиссионному слою, потому что в органических полупроводниках дырки обладают большей подвижностью, чем электроны. При рекомбинации электрон теряет энергию, что сопровождается излучением (эмиссией) фотонов в области видимого света. Поэтому слой и называется эмиссионным.

Широкое распространение получает технология на основе квантовых точек (QD-LED, QLED от англ. Quantumdot — «квантовая точка»). Квантовые точки — это полупроводниковые нанокристаллы, которые светятся, когда подвергаются воздействию тока или света (рис. 4). Они излучают различные цвета в зависимости от их размера и материала, из которого они изготовлены.

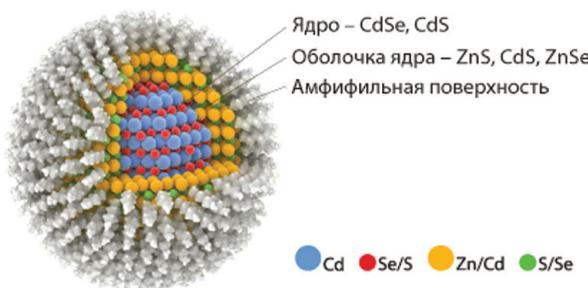


Рис. 4. Квантовые точки

О ПЕРСПЕКТИВНЫХ ДИСПЛЕЯХ

OLED-дисплеи и технологии на основе квантовых точек следует отнести к перспективным технологиям. Эти технологии поддерживаются и развиваются двумя южно-корейскими мировыми гигантами по производству потребительской электронной техники Samsung Electronics и LG Electronics. Samsung Electronics нацелен на развитие технологии квантовых точек для телевизионных дисплеев, а LG Electronics видит перспективу в OLED-технологии.

Для квантовых точек декларируется гораздо более высокие, чем у OLED-технологий, яркость, контрастность и глубина цвета. Исследователи заявляют, что дисплеи на квантовых точках могут иметь сниженное в пять раз энергопотребление по сравнению с обычными ЖК-дисплеями, а также более продолжительный срок службы по сравнению с OLED-дисплеями. Также утверждается, что стоимость производства может быть вдвое ниже стоимости изготовления жидкокристаллических и OLED-дисплеев. С другой стороны, в новых OLED-дисплеях нет внутренней подсветки и той многослойности, которая свойственна LED-моделям, что позволило сделать его очень тонким. Дисплей имеет расширенный спектр цветопередачи телевизора соответствует 99 % требованиям стандарта для цифровых кинотеатров и может передавать до миллиарда цветовых оттенков.

Пока чаша весов, по мнению большинства зарубежных специалистов, склоняется в пользу OLED-технологии. Так, например, Япония создает единого крупного производителя средств отображения типа OLED. Тем не менее еще длительное время ЖК-технологии, особенно в телевидении, сохранят свое лидирующее положение благодаря относительно низкой стоимости и удовлетворительному качеству изображения даже при современных повышенных требованиях. Общей тенденцией последних лет является рост размеров телевизионных дисплеев, что, в основном, определяется рыночным спросом. В свою очередь, это связано с быстрым ростом телевизионного вещания высокой четкости и перспективами перехода на UHDTV.

О ПРОИЗВОДСТВЕ ДИСПЛЕЕВ ДЛЯ ТЕЛЕВИЗОРОВ

Дисплей является основной составляющей в себестоимости современного телевизора. Так, например, в ЖК-телевизорах себестоимость дисплея составляет в среднем 72 %. В OLED-телевизорах себестоимость дисплея достигает 82 %. Поэтому производство телевизоров связано, как правило, с владением или совладением с производителями средств отображения – дисплеев.

До последнего времени ведущим производителем ЖК-панелей большого размера являлась компания LG Display, рыночная доля которой составляла более 25 %. Второе место занимала компания Samsung Display, производя более 20 % дисплеев. Третьим по величине поставщиком была тайваньская компания Innolux (15 %). В последние годы больших успехов добились китайские производители. Такие компании, как BOE Technology и ChinaStar Optoelectronics Technology (CSOT), планомерно увеличивают инвестиции в производство ЖК-панелей, в том числе большого размера. Китайское производство быстро набирает силу благодаря поддержке правительства своей страны и за счет роста спроса на их внутреннем и внешнем рынках. По данным исследовательской фирмы IHS Technology, в 2015 г. доля компаний из КНР на рынке 32-дюймовых панелей достигла 70 %. Теперь китайские производители стремятся захватить и сегменты более крупных дисплеев. Благодаря высокой конкуренции со стороны китайских производителей ЖК-панели резко подешевели. Так, средняя продажная цена 32-дюймовых ТВ-панелей формата Full HD, которая в начале 2015 года доходила до 101 долл., в конце 2015 г. упала до 67 долл., а в январе – марте 2016 г. – до 60 долл. В настоящее время технология производства ЖК-дисплеев условно насчитывает одиннадцать поколений (G), характеризуемых размером стеклянных подложек при групповом производстве (табл. 1).

Таблица 1. Поколения ЖК-дисплеев

Поколение	Размер подложки, мм	Год внедрения
G1	320×400	До 1987
G2	370×470	1987
G3	360×465	1994
G4	550×650	1997
G5	680×880	2000
G6	1100×1250	2002
G7	1500×1800	2004
G8	1870×2200	2005
G9	2160×2460	2006
G10	2850×3050	2009
G11	2320×3000	2011

В мае 2016 г. китайская компания CSOT начала строительство в городе Шэньчжэне крупнейшей в мире фабрики по выпуску жидкокристаллических панелей по технологии 11G. Завод, затраты на который оцениваются в 7,8 млрд долл., будет производить сверхбольшие панели высокого разрешения, а именно — ТВ-дисплеи размером 65 дюймов и более. Запуск коммерческого производства на новом предприятии CSOT запланирован на 2018 г. В недалеком будущем следует ожидать появления рулонных телевизионных дисплеев. Это не значит, что такие дисплеи заменят жесткую конструкцию. Однако они займут на телевизионном рынке свое положение как нишевый продукт.

Технологии производства дисплеев для 4К-телевизоров освоены большинством изготавителей средств отображения. А вот дисплеи для 8К-телевизоров первыми взялись освоить тайваньские компании Innolux и AU Optronics (AUO). Уже в середине 2016 г. они изготавлили небольшую партию 65-дюймовых дисплеев. С отставанием на несколько месяцев осваивают новую продукцию корейские коллеги во главе с LG Display. Китайский производитель дисплеев BOE Technology намерен начать выпуск UHDTV-дисплеев во второй половине 2017 г.

О ПРОИЗВОДСТВЕ ДИСПЛЕЕВ В РОССИИ

К сожалению, производства современных телевизионных дисплеев в России не существует, что является одной из важнейших причин отсутствия серийного выпуска отечественных телевизоров. Технологическое отставание в этой области негативно оказывается и на создании, и выпуске средств отображения для других отраслей народного хозяйства и обороны страны. В советское время все телевизоры комплектовались электронно-лучевыми трубками собственного изготовления. Были задействованы заводы Министерства электронной промышленности: Запрудненский завод, Московский ламповый завод, Новосибирский завод «Экран», Ленинградское ПО «Позитрон», Московский завод «Хроматрон», Воронежский электроламповый завод и др. Разработка велась в основном в НИИ «Платан». И только когда годовое производство телевизоров приблизилось к 10 млн шт., страна стала покупать корейские кинескопы индийской сборки.

В ситуации, которая сложилась в России, наиболее правильным является привлечение зарубежных инвестиций и технологий для начала раскручивания

этого направления электронной промышленности. Сложность новых технологий и высокая стоимость их разработки определяет необходимость привлечения отечественных и зарубежных инвестиций и укрепление взаимовыгодного научно-технического сотрудничества с ведущими мировыми компаниями.

Постепенное углубление локализации технологических основ является непременным условием. При этом предусматривается активное участие государственного сектора электроники. По мере накопления технологического и производственного опыта, возникает необходимость и возможность приобретения зарубежных высокотехнологичных радиоэлектронных активов. Одновременно при этом реализуется импортонезависимость, вплоть до полной или необходимой по устраивающим нас условиям международного разделения труда.

С учетом допущенного отставания российской электроники начинать освоение производства современной дисплейной техники целесообразно с привлечением зарубежных компаний с ЖК-дисплеев 6–8 поколений. И даже в этом случае для ликвидации отставания понадобится не менее 10 лет. С февраля 2017 г. началось объединение двух крупных холдингов «Российская электроника» и «Объединенная приборостроительная корпорация». Разработчики и изготавливатели средств отображения и приборные компании будут работать в тесном контакте, преследуя единые цели, связанные с созданием самых современных высокотехнологичных радиоэлектронных изделий для всех категорий потребителей. Есть все основания полагать, что такое важное направление радиоэлектронной техники, как средства отображения, включая телевизионные дисплеи, найдут достойное место в новом холдинге.

ЛИТЕРАТУРА

1. Средства отображения информации: современные разработки и рынок России. Научно-практический семинар, «Электроника: наука, технология, бизнес», № 8, 2005.
2. Жуков Н. Электронные средства отображения. От наноматериалов к нанотехнологии, «Электроника: наука, технология, бизнес», № 5, 2008.

Кукк Калью Иванович,
д.т.н., профессор,
Лауреат Ленинской премии,
Заслуженный работник связи и информации
Российской Федерации



Назаров С.В., д.т.н., профессор

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СИСТЕМЫ ОТОБРАЖЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ

С позиций математического аппарата метода анализа иерархий рассматривается и решается задача выбора оптимального варианта системы отображения информации коллективного пользования (СОИ КП).

Ключевые слова: эффективность, показатель эффективности, метод анализа иерархий, вариант организации СОИ КП.

ВВЕДЕНИЕ

Системы отображения информации коллективного пользования (СОИ КП) сегодня являются одной из основных составляющих ситуационных центров (СЦ) различных уровней управления – государственного, военного, промышленного (хозяйственного) назначения. Они широко используются в центрах управления на транспорте, в телекоммуникациях, энергетике, тренажерных комплексах, выставочных и конференц-залах, при проведении культурно-массовых мероприятий и т. п. Основное назначение СОИ КП – отображение цифровой, текстовой и видеоинформации, компьютерной графики и анимации.

В зависимости от места применения к СОИ КП предъявляются определенные требования, которые можно разделить на общие – требования, независящие от назначения, и специальные – требования, учитывающие специфику и назначение СОИ КП в связи с задачами, предметной областью, уровнем и местом использования (СЦ, диспетчерские пункты, центры безопасности и др.). Требования общего характера в основном связаны с техническими характеристиками визуального отображения информации и эргономическими показателями. Они в значительной мере определяются данными ГОСТ 52870-2007 [1] «Средства отображения информации коллективного пользования. Требования к визуальному отображению информации и способы измерения».

Технические требования этого документа определяют угол наблюдения, яркость, контрастность изображения, равномерность яркости по полю экрана, зависимость яркости и контрастности от угла наблюдения и др. Можно перечислить также ряд других технических требований, которые в той или иной мере всегда предъявляются ко всем средствам отображения информации. Это – быстродействие, производительность, надежность и др.

Поскольку в этой работе далее речь идет о СОИ КП типа Wall (видеостена), которые используются в СЦ высших уровней управления, необходимо отметить ключевые факторы, связанные с построением видеостен из совокупности панелей профессиональных коммерческих дисплеев (LFD – Large Format Displays). В этих случаях видеостены формируют изображения, в которых отдельная LFD-панель дает относительно небольшую часть изображения. Это накладывает ограничения на межмодульный шов между LFD-панелями, а следовательно, на толщину рамок самих дисплеев. При этом качество изображения полиэкрана определяется не только качеством картинки отдельной панели, но и возможностью построения монолитного изображения, требующего автоматической калибровки цвета, яркости и температуры изображения отдельной панели. К этому надо добавить, что панели должны управляться так, чтобы соответствующим образом масштабировалось изображение высокого разрешения. Как отмечено в [2], если в стене более чем 5×5 панелей, это не простая задача. В целом аппаратно-программное управление видеоизображением должно воспринимать видеостену как единый экран.

В настоящее время в России существует большое количество компаний, поставляющих сотни вариантов типовых или заказных видеостен. Например, компания «АВ ПРОМ», осуществляющая деятельность по реализации проектов в области систем отображения информации и визуализации, предлагает несколько типов видеостен, контроллеры видеостен и широкую номенклатуру (83 образца) LFD-панелей с диагональю 46», 47», 55», 60» с максимальным разрешением Full HD (1920×1080 пикселей). Обеспечивается межэкранный шов 3,5 мм и менее, повышенная надежность и работоспособность в круглосуточном режиме 24/7/365 [3]. На рынке видеостен присутствуют и другие поставщики, и системные интеграторы, которые предлагают более широкую номенклатуру готовых видеостен и оборудования к ним. Таким образом, выбор видеостены или панелей для нее – очень ответственная задача, так как это существенно влияет на бюджет внедрения и стоимость обслуживания видеостены.

ПОСТАНОВКА, ФОРМАЛИЗАЦИЯ И МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Задача выбора оптимального варианта реализации или приобретения готового образца из нескольких представленных в номенклатуре (каталоге) организации-поставщика или системного интегратора непосредственно связана с оценкой эффективности некоторого множества вариантов реализации видеостен. Возможные подходы к выбору лучшего варианта или сравнению вариантов рассмотрены выше и в статье [4]. Следуя формализации задачи оценки эффективности СОИ КП по этой статье, будем считать, что выбор лучшего варианта видеостены производится последовательностью парных сравнений вариантов. Пусть имеется два варианта организации (реализации) СОИ КП $(V_l, V_r) \in V$, где V – множество различных вариантов организации СОИ, каждый из которых задан определенной совокупностью параметров. При этом полагаем, что все варианты реализации СОИ КП оцениваются одним и тем же набором показателей эффективности. Не уменьшая общности, примем, что лучшая организация СОИ КП характеризуется большим числовым значением каждого показателя. Тогда при выполнении определенных условий (см. [4]) между вариантами $(V_l, V_r) \in V$ могут быть установлены отношения строго, нестрогого предпочтения или безразличия.

На практике установить такие отношения не всегда возможно, поскольку если некоторый показатель СОИ КП по варианту V_l больше этого же показателя по варианту V_r , то это не означает, что и другие показатели варианта V_l будут больше, чем в варианте V_r . В этом случае выбор оптимального (из сравниваемых) варианта невозможен без информации о предпочтениях лица, принимающего решение. Описание предпочтений осуществляется во множестве всех оценок W (в том числе гипотетических) с помощью бинарных предпочтений или функции ценности.

Если имеется возможность построения предпочтения во всем множестве показателей эффективности, например построение лексикографического отношения предпочтения, то превосходство варианта V_l ($V_l < lex V_r$) определяется выполнением хотя бы одного из условий:

$$\left. \begin{array}{l} 1) W_1(V_l) > W_1(V_r); \\ 2) W_1(V_l) = W_1(V_r), W_2(V_l) > W_2(V_r); \\ \\ m) W_j(V_l) = W_j(V_r), j=1, 2, m-1, W_m(V_l) > W_m(V_r) \end{array} \right\}$$

Однако на практике такой подход редко удается использовать в силу разнородности показателей и трудности установления предпочтений.

Как показано в статье [4], для оценки эффективности СОИ КП целесообразно использовать четыре

группы показателей: целевого (боевого) использования (или целевого назначения) W_u , технического совершенства W_v , эргономичности W_s и экономической целесообразности W_{ek} . В практически решаемых задачах исследования СОИ КП из множества возможных показателей эффективности

$$W = \{W_u \cup W_v \cup W_s \cup W_{ek}\} = \{W_j | j=1, 2, \dots, m\}$$

необходимо выбрать такое подмножество показателей $W_{coikp} \subset \{W_j | j=1, 2, \dots, m\}$, которое бы наиболее полно характеризовало различные свойства СОИ КП с учетом предъявляемых к ней требований в соответствии с целевым назначением всей системы. При этом желательно стремиться к выполнению условия

$$|W_{coikp}| \ll m. \quad (1)$$

Стремление выполнить условие (1) приводит к рассмотрению вопроса возможности введения обобщенного показателя эффективности СОИ КП. Такие обобщенные показатели называются конструируемыми. В [4] дан пример наиболее простого и наиболее частного подхода к получению конструируемого обобщенного показателя. Пусть система характеризуется множеством показателей

$$W = \{W_j | j=1, 2, \dots, m\},$$

тогда обобщенный показатель можно сконструировать по следующему выражению

$$W_\Sigma = \sum_{j=1}^m W_j \times \lambda_j,$$

где $\sum_{j=1}^m \lambda_j = 1$, а λ_j – весовые коэффициенты, характеризующие (субъективно) важность j -го показателя. Конструируемые показатели обладают существенными недостатками, не позволяющими в большинстве случаев использовать их на практике. Во-первых, они объективно не присущи исследуемой системе. Во-вторых, трудно (и, пожалуй, нереально) определить правило формирования коэффициентов λ_j .

Единственным эффективным методом решения задачи выбора оптимального варианта СОИ КП на данный момент времени следует считать метод анализа иерархий (МАИ). Основы метода были разработаны Беллманом Р., Бруком Б.Н. и Бурковым В.Н. в 70-е годы XX столетия, но получил он широкую известность по работам Саати Т., который и назвал данную процедуру методом анализа иерархий. Публикации Саати более полно раскрыли возможности процедуры, и с тех пор МАИ используется во всем мире для принятия решений в разнообразных ситуациях: от управления на межгосударственном уровне до решения отраслевых и частных проблем в бизнесе, промышленности, здравоохранении и образовании.

Хорошим подтверждением возможностей МАИ для решения сложных нестандартных задач является статья [5]. В то же время имеются публикации, ста-

вящие под сомнение возможность и правомерность решения оптимизационных задач методом МАИ. Так в статье [6], авторы Подиновский В.В., Подиновская О.В. говорят о некорректности МАИ, которая «заключается в том, что шкалы приоритетов вариантов по отдельным критериям (нижнего уровня) полагаются шкалами отношений, и при этом не связанными друг с другом и с приоритетами (весами) критериев». Несостоятельность этой критики убедительно дана Митихиным В.Г. в статье [7].

Для дальнейшего изложения решения задачи выбора оптимального варианта СОИ КП методом анализа иерархий конкретизируем постановку задачи. Пусть требуется выбрать СОИ КП для ситуационного центра. Основной компонент системы – видеостена размером 2×6 метра. В качестве поставщика выбрана фирма ООО «1000 дюймов» (<http://1000inch.ru/video-wall>). Рассматривается три возможных варианта:

1. Видеостена «Антикризис» (вариант V_1). Основные характеристики:

- панели – HTS 46";
- межпанельный шов (экран к экрану) – 3,5 мм;
- подсветка – прямая светодиодная;
- яркость – 450 – 500 кд/м²;
- контрастность – 3500:1;
- время отклика – 8 мс;
- частота обновления экрана – 60 Гц;
- количество цветов – 16,7 М;
- угол обзора по вертикали – 178°;
- угол обзора по горизонтали – 178°;
- разрешение видеостены – 1920 × 1080 px (FullHD) или более, в случае использования внешнего контроллера видеостены;
- диагональ видеостены – 258,3" (656,0 см.);
- размеры видеостены (ВЧШЧГ) – 231,4 × 614,4 × 9,9 см (без учёта кронштейна);
- количество ЖК-панелей – 4 × 6 = 24 шт.;
- стоимость видеостены: 3 982 822,25 руб.

2. Видеостена «Стандарт» (вариант V_2). Основные характеристики:

- панели – Philips 46»;
- межпанельный шов (экран к экрану) – 5,5 мм;
- подсветка – прямая светодиодная;
- яркость: 450 – 500 кд/м²;
- контрастность – 3500:1;
- время отклика – 8 мс;
- частота обновления экрана – 60 Гц;
- количество цветов – 16,7 М;
- угол обзора по вертикали – 178°;
- угол обзора по горизонтали – 178°;
- разрешение видеостены – 1920 × 1080 px (FullHD), или более, в случае использования внешнего контроллера видеостены;
- диагональ видеостены – 258,3" (656,0 см.);
- размеры видеостены (ВЧШЧГ) – 231,4 × 614,4 × 11,7 см (без учёта кронштейна);

- количество ЖК-панелей – 24 шт.;
- стоимость видеостены – 4 495 485,85 руб.

3. Видеостена «Люкс» (вариант V_3). Основные характеристики:

- панели – Philips 55";
 - межпанельный шов (экран к экрану) – 3,5 мм;
 - подсветка – светодиодная по краю;
 - яркость – 500 кд/м²;
 - контрастность – 1200:1;
 - время отклика – 6,5 мс;
 - частота обновления экрана – 60 Гц;
 - количество цветов – 16,7 М;
 - угол обзора по вертикали – 178°;
 - угол обзора по горизонтали – 178°;
 - разрешение видеостены – 1920 × 1080 px (FullHD) или более, в случае использования внешнего контроллера видеостены;
 - диагональ видеостены – 251,9" (639,7 см.);
 - размеры видеостены (ВЧШЧГ) – 205,3 × 606,7 × 10,3 см (без учёта кронштейна);
 - количество ЖК-панелей – 15 шт.;
 - стоимость видеостены – 4 611 583,56 руб.
- Требуется выбрать лучший вариант из трех предложенных.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО ВАРИАНТА СОИ КП

Решение задачи в МАИ начинается с построения иерархической структуры, которая включает цель, критерии, альтернативы и другие факторы, влияющие на выбор. Элементы иерархии могут представлять различные аспекты решаемой задачи (материальные и нематериальные факторы, измеряемые количественные параметры и качественные характеристики, объективные данные и субъективные экспертивные оценки). Вершиной иерархии является цель решения задачи. Элементы нижнего уровня представляют множество возможных вариантов достижения цели. Элементы промежуточных уровней в данном случае соответствуют показателям эффективности (критериям выбора) возможных вариантов СОИ КП или факторам, которые связывают цель с альтернативами.

Следующим этапом анализа является определение приоритетов, представляющих относительную важность или предпочтительность элементов построенной иерархической структуры, с помощью процедуры парных сравнений. Приоритеты – безразмерные величины, которые могут принимать значения от нуля до единицы. Чем больше величина приоритета, тем более значимым является соответствующий ему элемент. Сумма приоритетов элементов, подчиненных одному элементу выше лежащего уровня иерархии, равна единице. Приоритет цели по определению равен 1.0.

На заключительном этапе анализа выполняется синтез (линейная свертка) приоритетов на иерархии, в результате которого определяются глобальные приоритеты альтернативных решений относительно главной цели. Они вычисляются путем умножения локального приоритета каждой альтернативы на приоритет каждого критерия и суммирования по всем критериям. Лучшей считается альтернатива с максимальным значением приоритета.

Проведем декомпозицию задачи. Высший уровень иерархии – цель – выбор оптимального варианта СОИ КП. В п. 3.3.4 представлены четыре группы показателей эффективности: целевого использования (значения), технического совершенства, эргономичности и экономической целесообразности. В качестве показателей первого уровня иерархии целесообразно выбрать группы W_u и W_{ek} : быстродействие, точность, надежность и экономическую целесообразность (стоимость) СОИ КП. На следующем уровне иерархии будем использовать показатели группы W_t и W_s , представляющие техническое совершенство рассматриваемых вариантов СОИ КП. Сюда отнесем разрешающую способность системы, информационную емкость, межэкранный шов и эргономические характеристики. Именно эти показатели в основном определяют значения показателей первого уровня иерархии.

Следует заметить, что выбор показателей эффективности (критериев сравнения) вариантов СОИ КП, их полнота и распределение по уровням иерархии во многом зависит от предметной области (сферы применения) системы, состава экспертов и, в конечном счете, от лица, принимающего решение (ЛПР). В данном случае задача авторов – показать методику применения МАИ для решения конкретной задачи. Что касается полноты показателей, то она, конечно, может быть расширена. Схему иерархии показателей эффективности возможных вариантов СОИ КП с учетом предложенного перечня показателей можно представить, как показано на рис. 1.

Метод анализа иерархий определяет процедуру синтеза приоритетов на основе субъективных суждений экспертов. Число суждений может измеряться десятками и более. Математические вычисления для задач небольшой размерности можно выполнить вручную, но удобнее использовать программное обеспечение для ввода и обработки суждений, например, электронные таблицы. В сложных задачах можно использовать систему поддержки принятия решения (СППР) “Expert Choice” – коммерческий программный продукт, разработанный на основе метода анализа иерархий для поддержки принятия решений различными организациями. Для нахождения оценок относительной значимости показателей эффективности каждого уровня иерархии формируются матрицы парных сравнений относительной значимости показателей.

Результаты парных сравнений представляются в виде обратно-симметричной матрицы, на главной диагонали которой находятся единицы. Сравнения проводятся в терминах доминирования одного показателя над другим. Полученные суждения выражаются в целых числах с учетом девятибалльной шкалы, которая убедительно обоснована автором МАИ [8]. Преимущества этой шкалы качественных оценок отмечают многие исследователи, так как она позволяет наилучшим образом учесть степень отличия и имеет наименьшее среднеквадратическое отклонение. Элементом матрицы является степень важности одного показателя эффективности относительно другого, оцениваемая по шкале интенсивности от 1 до 9.

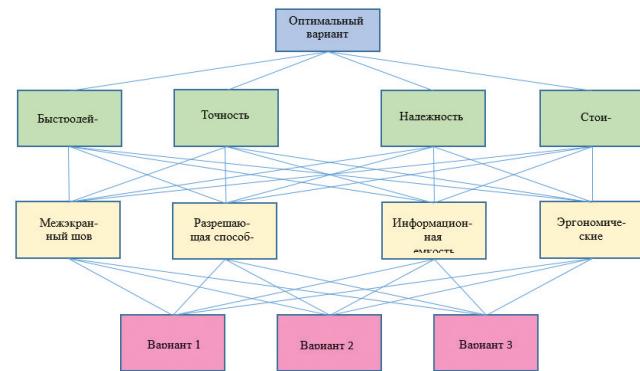


Рис 1. Декомпозиция задачи выбора оптимального варианта

Заполняя матрицы парных сравнений, эксперт (ЛПР) руководствуется следующими соображениями:

- если сравниваемые показатели эффективности одинаково предпочтительны, то соответствующий элемент матрицы равен 1;
- если один из показателей имеет незначительное превосходство над другим, то соответствующий элемент матрицы равен 3;
- если один из показателей имеет значительное превосходство над другим, то соответствующий элемент матрицы равен 5;
- если один из показателей имеет явное превосходство над другим, то соответствующий элемент матрицы равен 7;
- если один из показателей имеет абсолютное доминирование по сравнению с другим, то соответствующий элемент матрицы равен 9.

Значения шкалы 2, 4, 6, 8 являются промежуточными, и по рекомендации Т. Саати, свидетельствуют о ситуации, требующей компромиссное решение. Заполненная таблица парных сравнений для показателей эффективности первого уровня иерархии приведена на рис. 2.

Оценим согласованность матрицы парных сравнений показателей эффективности первого уровня иерархии. Известно, что согласованность положительной обратно-симметричной матрицы эквивалентна

ОВ	Б	Т	Н	С		ВЛП
Быстродействие (Б)	1,000	2,000	2,000	4,000	2,000	0,444
Точность(Т)	0,500	1,000	1,000	2,000	1,000	0,222
Надежность (Н)	0,500	1,000	1,000	2,000	1,000	0,222
Стоимость (С)	0,250	0,500	0,500	1,000	0,500	0,111
Σ	2,250	4,500	4,500	9,000	4,500	1,000

Рис. 2. Таблица парных сравнений для показателей эффективности первого уровня иерархии ($\lambda_{max} = 4$, ИС = 0, СИ = 0,9, ОС = 0)

требованию равенства ее максимального собственного значения λ_{max} со значением n (количеством показателей эффективности первого уровня иерархии, равным числу строк матрицы). Отклонение от согласованности можно оценить разностью ($\lambda_{max} - n$) разделенной на $(n - 1)$. Полученное значение есть индекс согласованности (ИС). Индекс согласованности генерированной случайным образом по шкале от 1 до 9 обратно-симметричной матрицы с соответствующими обратными величинами элементов, назовем случайнм индексом (СИ).

В [8] приведены данные по сгенерированным средним СИ для матриц порядка от 1 до 15 на базе 100 случайных выборок. Анализ показал, что СИ увеличивались с увеличением порядка матрицы. Ниже представлены порядок матрицы (первая строка) и средние СИ (вторая строка):

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0,00	0,00	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51	1,48	1,56	1,57	1,59

Отношение ИС к среднему СИ для матрицы того же порядка называется отношением согласованности (ОС). Значение ОС, меньшее или равное 0,10, считается приемлемым. В данном случае вычисленное значение λ_{max} оказалось равным четырем и ОС = 0, что свидетельствует о хорошей согласованности таблицы.

Переходим к рассмотрению следующего уровня иерархии – показателей эффективности технического совершенства W_t и эргономичности W_s . Оценим влияние этих показателей на показатели эффективности первого уровня иерархии. Для этого составим четыре матрицы парных сравнений, представляющих влияние этих показателей на быстродействие, точность, надежность и стоимость СОИ КП. Полученные таблицы приведены на рис. 3–6.

Быстродействие (Б)	МШ	РС	ИЕ	ЭХ	$W_i = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 a_{ij}}$	ВЛП
Межэкранный шов (МШ)	1,000	0,333	0,333	0,333	0,439	0,098
Разрешающая способность (РС)	3,000	1,000	1,000	1,000	1,316	0,293
Информационная емкость (ИЕ)	3,000	1,000	1,000	3,000	1,732	0,386
Эргономические характеристики (ЭХ)	3,000	1,000	0,333	1,000	1,000	0,223
Σ	10,000	3,333	2,667	5,333	4,487	1,000

Рис. 3. Таблица парных сравнений для показателя быстродействие ($\lambda_{max} = 4,15$, ИС = 0,051, СИ = 0,9, ОС = 0,056)

Точность (Т)	МШ	РС	ИЕ	ЭХ	$W_i = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 a_{ij}}$	ВЛП
Межэкранный шов (МШ)	1,000	0,500	0,333	0,250	0,452	0,103
Разрешающая способность (РС)	2,000	1,000	1,000	1,000	1,189	0,271
Информационная емкость (ИЕ)	3,000	1,000	1,000	2,000	1,565	0,356
Эргономические характеристики (ЭХ)	4,000	1,000	0,500	1,000	1,189	0,271
Σ	10,000	3,500	2,833	4,250	4,395	1,000

Рис. 4. Таблица парных сравнений для показателя точность ($\lambda_{max} = 4,13$, ИС = 0,044, СИ = 0,9, ОС = 0,05)

Надежность (Н)	МШ	РС	ИЕ	ЭХ	$W_i = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 a_{ij}}$	ВЛП
Межэкранный шов (МШ)	1,000	0,500	0,500	0,333	0,537	0,125
Разрешающая способность (РС)	2,000	1,000	1,000	0,500	1,000	0,233
Информационная емкость (ИЕ)	2,000	1,000	1,000	1,000	1,189	0,277
Эргономические характеристики (ЭХ)	3,000	2,000	1,000	1,000	1,565	0,365
Σ	8,000	4,500	3,500	2,833	4,292	1,000

Рис. 5. Таблица парных сравнений для показателя надежность ($\lambda_{max} = 4,05$, ИС = 0,015, СИ = 0,9, ОС = 0,017)

Стоимость (С)	МШ	РС	ИЕ	ЭХ	$W_i = \sqrt[4]{\prod_{i=1}^4 a_{ij}}$	ВЛП
Межэкранный шов (МШ)	1,000	2,000	0,500	0,333	0,760	0,180
Разрешающая способность (РС)	0,500	1,000	1,000	0,500	0,707	0,168
Информационная емкость (ИЕ)	2,000	1,000	1,000	1,000	1,189	0,282
Эргономические характеристики (ЭХ)	3,000	2,000	1,000	1,000	1,565	0,371
Σ	6,500	6,000	3,500	2,833	4,221	1,000

Рис. 6. Таблица парных сравнений для показателя стоимость ($\lambda_{max} = 4,24$, ИС = 0,08, СИ = 0,9, ОС = 0,09)

	Б	Т	Н	С				
МШ	0,10	0,10	0,13	0,18	\times	0,44	Б	$= < 0,114 \ 0,261 \ 0,343 \ 0,281 >$
РС	0,29	0,27	0,23	0,17		0,22	Т =	
ИЕ	0,39	0,36	0,28	0,28		0,22	Н	
ЭХ	0,22	0,27	0,37	0,37		0,11	С	

Рис. 7. Результат промежуточного синтеза иерархии приоритетов

Синтезируем полученную трехуровневую иерархию показателей эффективности СОИ КП. С этой целью построим матрицу векторов локальных приоритетов относительно показателей, влияющих на выбор оптимального варианта СОИ КП. Для этого выбираем последние столбцы из матриц, приведенных на рис. 4.3–4.6. После этого умножаем полученную матрицу на вектор локальных приоритетов из матрицы, приведенной на рис. 4.2. Результат приведен на рис. 7.

Таким образом, наибольший вклад в выбор оптимального варианта СОИ КП вносит информационная емкость (0,34) и эргономические характеристики системы (0,28). Перейдем на последний уровень иерархии (рис.1) и учтем конкретные характеристики предварительно выбранных вариантов. Для этого составим матрицы парных сравнений вариантов СОИ КП по каждому показателю технического совершенства системы (рис. 8–11).

Межэкранный шов (МШ)	V1	V2	V3	$W_i = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 a_{ij}}$	ВЛП
Вариант V1	1	2	1	1,189	0,385
Вариант V2	0,5	1	0,5	0,707	0,229
Вариант V3	1	2	1	1,189	0,385
Σ	2,5	5	2,5	3,086	1,000

Рис. 8. Таблица парных сравнений вариантов для показателя межэкранный шов ($\lambda_{max} = 3,02$, ИС = 0,01, СИ = 0,58, ОС = 0,017)

Разрешающая способность (РС)	V1	V2	V3	$W_i = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 a_{ij}}$	ВЛП
Вариант V1	1	2	1	1,189	0,385
Вариант V2	0,5	1	0,5	0,707	0,229
Вариант V3	1	2	1	1,189	0,385
Σ	2,5	5	2,5	3,086	1,000

Рис. 9. Таблица парных сравнений вариантов для показателя разрешающая способность ($\lambda_{max} = 3,02$, ИС = 0,01, СИ = 0,58, ОС = 0,017)

Информационная емкость (ИЕ)	V1	V2	V3	$W_i = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 a_{ij}}$	ВЛП
Вариант V1	1	1	1,1	1,024	0,341
Вариант V2	1	1	1,1	1,024	0,341
Вариант V3	0,91	0,91	1	0,954	0,318
Σ	2,91	2,91	3,2	3,002	1,000

Рис. 10. Таблица парных сравнений вариантов для показателя информационная емкость ($\lambda_{max} = 3,0$, ИС = 0,0, СИ = 0,58, ОС = 0,0)

Эргономические характеристики (ЭХ)	V1	V2	V3	$W_i = \sqrt[3]{\prod_{i=1}^3 a_{ij}}$	ВЛП
Вариант V1	1	1	1,1	1,024	0,341
Вариант V2	1	1	1,1	1,024	0,341
Вариант V3	0,91	0,91	1	0,954	0,318
Σ	2,91	2,91	3,2	3,002	1,000

Рис. 11. Таблица парных сравнений вариантов для показателя эргономические характеристики ($\lambda_{max} = 3,0$, ИС = 0,0, СИ = 0,58, ОС = 0,0)

	МШ	РС	ИЕ	ЭХ		0,114		
Вариант V1	0,385	0,385	0,341	0,341	×	0,261	=	0,36
Вариант V2	0,229	0,229	0,341	0,341		0,343		0,30
Вариант V3	0,385	0,385	0,318	0,318		0,281		0,34

Рис. 12. Результат синтеза полной иерархии приоритетов

Теперь можно синтезировать полученную полную иерархию показателей эффективности СОИ КП. Построим матрицу векторов локальных приоритетов относительно предложенных к выбору вариантов СОИ КП. Для этого выбираем последние столбцы из матриц, приведенных на рис. 4.8–4.11, и умножаем полученную матрицу на вектор локальных приоритетов, полученный из матрицы, приведенной на рис. 4.7. Результат приведен на рис. 12.

Таким образом, можно заключить, что лучшим вариантом СОИ КП является вариант следует отметить, что в рассмотренном примере все три варианта незначительно отличаются друг от друга, за исключением того, что стоимость первого варианта несколько ниже (примерно на 10–12%) по сравнению с вариантами и. Действительно, внимательно рассмотрев технические характеристики предложенных вариантов, можно увидеть их практическую идентичность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Решение задачи выбора оптимального варианта СОИ КП методом анализа иерархи показывает, что в задачах многокритериальной оптимизации в случаях физической несовместимости показателей эффективности, имеющих разную природу, он особенно эффективен. Метод анализа иерархий может быть результативно использован для решения оптимизационных задач различного характера как в технической сфере, так и для принятия управлений решений. Однако следует отметить недостатки метода. Во-первых, декомпозиция задачи (разработка иерархии) – нетривиальная работа, требующая глубокого анализа проблемы. Во-вторых, составление таблиц парных сравнений требует наличия высококвалифицированных экспертов, информацию которых необходимо правильно учитывать (исключать какие-то данные, усреднять и т.п.). Таблицы должны быть согласованными. В-третьих, метод весьма трудоемкий – при большом количестве исследуемых вариан-

тов электронные таблицы не спасут от большой работы. Использование пакета СППР “Expert Choice” ненамного облегчит ситуацию. Тем не менее в ряде задач метод анализа иерархий может быть единственным возможным.

ЛИТЕРАТУРА

- ГОСТ Р 52870-2007. Средства отображения информации коллективного пользования. Требования к визуальному отображению информации и способы измерения. [Электронный ресурс]: <http://vsegost.com/Catalog/47/47532.shtml>.
- Мочар В. Расширяя сферу применения. Анализ рынка LED для видеостен // Бестселлеры IT-рынка. – 2015. – № 4.
- Компания «АВ ПРОМ». [Электронный ресурс]: <http://www.av-prom.ru/about>.
- Назаров С.В., Вилкова Н.Н. Эффективность систем отображения информации коллективного пользования // Электросвязь. – 2015. – № 9.
- Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий. – М.: Радио и связь, 1993.
- Лобов С.А., Чемиренко В.П. Концепция и метод оценки степени влияния информационной безопасности на национальную безопасность // Электросвязь. – 2016. – № 9.
- Подиновский В.В., Подиновская О.В. О некорректности метода анализа иерархий // Проблемы управления. – 2011. – № 1.
- Митюхин В.Г К вопросу анализа задач принятия решений с иерархической структурой // Международный научно-исследовательский журнал. – 2015. – № 8–2(39).

Назаров Станислав Викторович,
д.т.н., профессор, действительный член
Международной академии информатизации,
главный специалист ЗАО «МНИТИ»



*Березанский В.М.,
Рожков К.Ю. , к. т. н.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМ АВИАЦИОННЫХ КОМПЛЕКСОВ

Рассматривается технология моделирования пассивных автономных оптико-электронных систем наведения (АОЭСН), которая реализуется сегодня на разных этапах разработки и испытаний. Особое внимание уделяется задачам моделирования как составных элементов АОЭСН, так и внешних воздействий на систему, включая моделирование оптического сигнала, характеризующего фоново-объектовую обстановку, и моделирование механических возмущений, действующих в процессе полёта.

Ключевые слова: моделирование, авиационный комплекс, тепловизионные изображения

ВВЕДЕНИЕ

В отечественных и зарубежных авиационных комплексах для работы по наземным (надводным) объектам широко применяются оптико-электронные видеосистемы благодаря их пассивному принципу действия и высокому пространственному разрешению при относительно небольших массогабаритных характеристиках.

Современные пассивные АОЭСН строятся на базе матричных фотоприёмников видимого или инфракрасного спектров излучения, которые в процессе работы формируют тепловизионные или тепловизионные изображения районов наблюдения. В настоящее время ведутся работы по созданию интегрированных теле-тепловизионных систем. В связи с этим актуальной является задача моделирования таких систем в процессе их разработки и испытаний.

СЛОЖНОСТЬ И ЗАТРАТНОСТЬ ОЦЕНКИ СООТВЕТСТВИЯ АОЭСН ЗАДАННЫМ ТРЕБОВАНИЯМ

Современные пассивные АОЭСН являются сложными и, соответственно, дорогими устройствами. Сложность и затратность оценки соответствия создаваемых систем заданным требованиям обусловлена многообразием режимов и условий их функционирования, включая:

- обнаружение, распознавание и автосопровождение (АС) объектов на подвеске носителя;
- автоматический захват объектов по оперативной эталонной информации после пуска и дальнейшее АС в автономном полете;

- автоматический захват объектов на траектории полета по заранее подготовленной эталонной информации;
- режим группового пуска, а также ряда других режимов; при этом упомянутые режимы работы должны реализовываться
- при различных траекториях полета, на разных скоростях и высотах;
- как ночью, так и днем в любое время года и в разнообразных погодных условиях;
- при наличии маскировочных средств и помех;
- для разных объектов расположенных на произвольных подстилающих поверхностях, отличающихся не только размерами, конфигурацией, но при этом имеющие, в зависимости от условий наблюдения, переменные контрасты в видимом и инфракрасном спектрах.

Повышение качества оценки тактико-технических характеристик пассивных АОЭСН, сокращение стоимости и сроков выполнения работ в процессе разработки, достигается сегодня путем широкого использования методов моделирования и натурных исследований.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ И ПОЛУНАТУРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ АОЭСН

Рассмотрим использование методов математического и полунатурного моделирования, а также натурных исследований на примере создания пассивной тепловизионной АОЭСН, работающей по наземным объектам. Общий вид системы приведен на рис. 1.

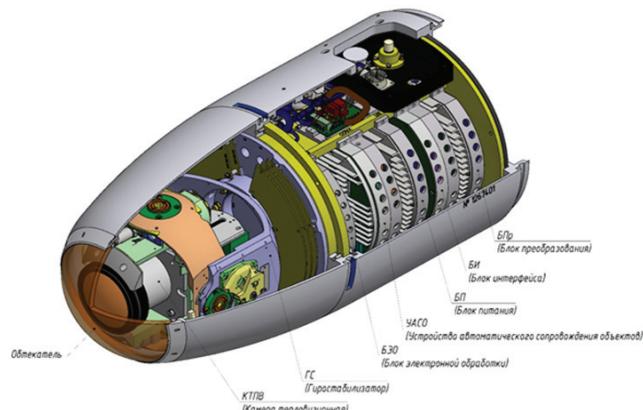


Рис. 1. Общий вид тепловизионной АОЭСН

АОЭСН предназначена для работы в инфракрасном диапазоне. В качестве датчика изображений в тепловизионной камере используется охлаждаемое матричное фотоприемное устройство (МФПУ) отечественного производства с форматом матрицы 320×256 элементов (размер элемента – 30 мкм, материал – селенид цинка). Система оснащена термостабилизированным объективом с фокусным расстояние 132 мм и относительным отверстием 1:1,2.

Для формирования цифрового изображения и видеосигнала по сигналам от МФПУ в системе используется блок электронной обработки (БЭО) сигналов. В нём решаются задачи по устранению дефектов и неравномерности чувствительности фотоприёмной матрицы, автоматической регулировки усиления и формирования нормированного тепловизионного видеосигнала.

Стабилизация положения оптической оси тепловизионной камеры в пространстве обеспечивается 2-осевым (курс и тангаж) гиростабилизатором с углами прокачки по курсу ± 30 градусов, по тангажу от +15 до –60 градусов.

Реперные алгоритмы автоматического распознавания и сопровождения объектов реализованы в спецвычислителе (УАСО), который выполнен на 2-х отечественных нейропроцессорах типа NM 6406 (НТЦ «Модуль»).

В состав АОЭСН входит блок интерфейса, который осуществляет обмен по МКИО командами и сигналами между АОЭСН и носителем.

На рис. 2 приведена функциональная схема пассивной тепловизионной АОЭСН.

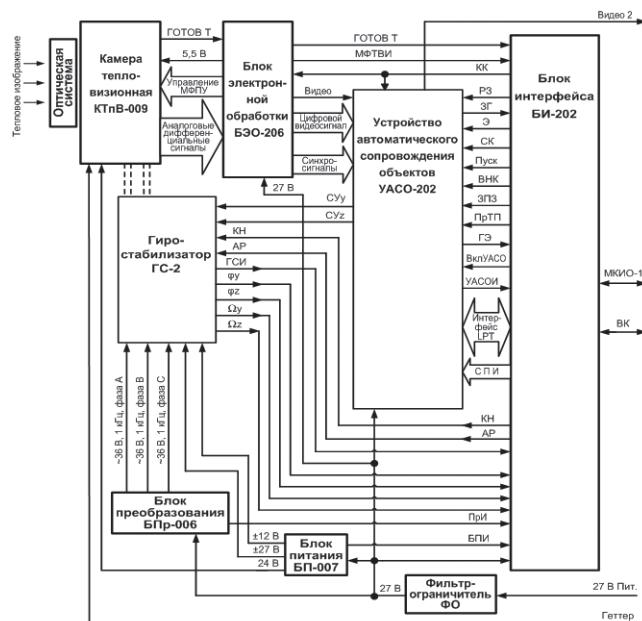


Рис. 2. Функциональная схема пассивной тепловизионной АОЭСН

Как правило, на разных стадиях разработки пассивной тепловизионной АОЭСН проводятся:

- математическое моделирование системы (поэлементное и изделия в целом),
- полунатурное моделирование,
- натурные исследования с использованием летающих лабораторий,
- и, наконец, летно-конструкторские и Государственные испытания в составе авиационного комплекса, завершающиеся реальными пусками.

Для оптимизации параметров и алгоритмов функционирования отдельных элементов используются модели:

- тепловизионного канала (повышение контрастной чувствительности, оптимизация динамического диапазона и др.),
- гиростабилизатора (оптимизация контуров управления и стабилизации),
- устройства автоматического сопровождения (оптимизация алгоритмов автоматического захвата и сопровождения объектов).

С целью оптимизации параметров системы наведения и отработки её в составе авиационного комплекса выполняется моделирование тепловизионной АОЭСН в целом. Математическое и полунатурное моделирование выполняется в сотрудничестве с ФГУП «ГосНИИАС».

Следует отметить, что при полунатурном моделировании важнейшим источником входного оптического сигнала в широком спектральном диапазоне – от видимого до дальнего ИК – является имитатор виртуальных изображений, созданный ГосНИИАС. Имитатор позволяет использовать как искусственно сформированную информацию, так и полученную в реальных натурных исследованиях (наземных и летных), а также моделировать различные погодные условия, искусственные и естественные помехи.

СТЕНДОВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

1. Стенд полунатурного моделирования (ПНМ)

Стенд обеспечивает отработку алгоритмов автоматического распознавания объектов-целей. В состав стенда ПНМ входят:

- макеты фоново-целевой обстановки, включающие макет городской (промышленной застройки), макет сельской местности и макеты объектов бронетанковой и авиационной техники;
- макеты датчиков изображений ТВ и ИК спектров;
- осветители;
- устройство точного позиционирования датчиков изображений относительно наблюдаемой сцены.

Изображения стенда ПНМ приведены на рис. 3–5. На рисунках представлены общий вид стенда (рис.3); макеты городской застройки и сельской местности с размещенными на них типовыми объектами (рис.4);

макеты летательных аппаратов и бронетанковой техники (рис.5).



Рис. 3. Общий вид стенда ПНМ



Рис. 5. Модели летательных аппаратов и бронетехники

Стенд ПНМ обеспечивает:

- формирование изображений типовых объектов и местности с объектами на ней в видимом и инфракрасных диапазонах – (3×5) мкм и (8×14) мкм;
- имитацию различных дальностей до наблюдаемых объектов за счёт использования вариофокальных объективов;
- обеспечение прецизионных перемещений датчиков изображений относительно объектов-целей для оценки функциональных возможностей алгоритмов распознавания;
- облучение сцены и объектов на ней в видимом и ИК диапазонах с вариацией спектра облучения.

2. Динамический стенд – гексапод

Гексапод разработан на основе платформы Гью-Стюарта, имеет 6 степеней свободы и может быть точно позиционирован и ориентирован в пространстве. Общий вид стенд показан на рис. 6. Технические характеристики гексапода приведены в табл. 1.

Таблица 1. Основные характеристики гексапода

Параметр	Значение
Максимальная высота подъема:	0.45 м
Максимальное смещение:	
по оси X	±0.3 м
по оси Y	±0.3 м
Диапазон прокачки на половине высоты по:	
тангажу	±30°
курсу	±45°
крену	±30°

Гексапод имеет шесть линейно приводимых в действие механических «ног». Является параллельным механизмом, состоящим из жесткого верхнего тела (подвижная плита), соединенного с неподвижной опорной плитой. Гексапод состоит из: 1 – опорная плита, 2 – подвижная плита, 3 – механические «ноги», 4 – штоки. «Ноги» соединены с опорной плитой в шести точках универсальными шарнирами, как показано на рисунке 6. Шток каждой «ноги» соединен с подвижной плитой универсальным шарниром.

Перечисленные стены используются в процессе разработки изделий для моделирования изображений объектовой обстановки и внешних механических возмущений при отработке программно-алгоритмического обеспечения автоматического анализа изображений и для оценки эффективности контуров управления и стабилизации.

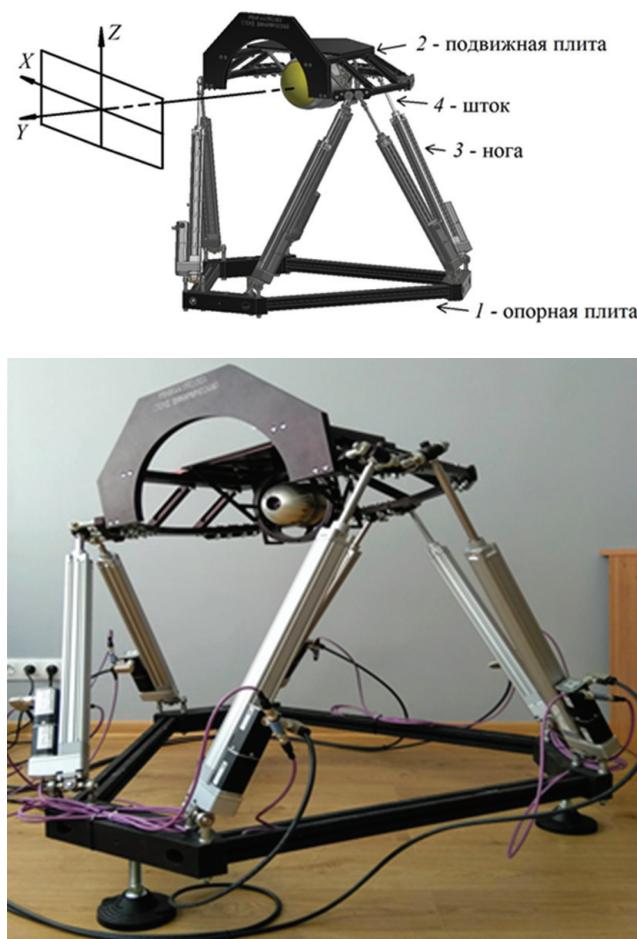


Рис. 6. Общий вид гексапода

ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕПЛОВИЗИОННЫХ АОЭСН

Разработка тепловизионных АОЭСН для носителей средней и большой дальности, обеспечивающих автоматический захват объектов на траектории по заранее подготовленной эталонной информации, потребовала создание информационного обеспечения для таких систем. Базы аэрокосмосников среднего и дальнего ИК диапазонов недоступны, их создание – это довольно далекая перспектива.

В качестве возможного решения проблемы информационного обеспечения предлагается трансформация аэрокосмоснимков, полученных в видимом спектре, в инфракрасные. Сложность заключается в необходимости учета при преобразовании существенных различий изображений одинаковых объектов, полученных в видимом и ИК-спектрах. При формировании таких изображений необходимо учитывать условия наблюдения, материалы объектов и их покрытия, состояние атмосферы, влияние естественных и искусственных помех и ряд других факторов.

В ЗАО «МНИТИ» и других отечественных и зарубежных предприятиях проводятся работы в этом направлении и получены обнадеживающие результаты.

Большего внимания, по нашему мнению, заслуживает одно из направлений работ, которое связано с созданием базы 3d моделей объектов по информации из открытых источников (интернет, электронные СМИ, социальные и другие сети) – это недорогой и доступный способ получения информации.

Для решения проблемы информационного обеспечения тепловизионных АОЭСН необходима постановка соответствующих НИОКР.

ЛЁТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Лётные исследования по оценке характеристик пассивных АОЭСН проводятся на летающих лабораториях – самолётах Ан-26 (ВУНЦ ВКС г. Воронеж – лаборатория «Полёт») и Ил-114ЛЛ (НПП «Радар ММС»), оборудованных измерительно-регистрирующими комплексами. На рис. 7 представлены изображения перечисленных самолётов-лабораторий, их основные характеристики перечислены в табл. 2.



а) АН26 – лаборатория «ПОЛЁТ»



б) Ил-114ЛЛ

Рис. 7. Изображения самолётов-лабораторий для обеспечения лётных исследований

Управление изделием и регистрация данных в процессе полёта обеспечивается аппаратурой измерительно-регистрирующего комплекса, который включает:

- рабочее место оператора управления изделием (пульт управления на базе ПЭВМ, видеоконтрольное устройство);
 - рабочее место оператора устройства регистрации (ПЭВМ, накопитель информации);
 - навигационную аппаратуру;
 - устройство питания.
- Внешний вид измерительно-регистрирующего комплекса, размещенного в салоне самолёта-лаборатории, показан на рис. 8.

Таблица 2. Основные характеристики самолётов-лабораторий

Наименование характеристики	Ан-26	Ил-114ЛЛ
Крейсерская скорость, км/ч	435	500
Практическая дальность, км 1100		до 5000
Практический потолок, м	7300	7600
Крепление аппаратуры	на пylonе	в гондоле под фюзеляжем



Рис. 8. Внешний вид измерительно-регистрирующего комплекса, размещенного в салоне самолёта-лаборатории

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сложность современных пассивных автономных оптико-электронных систем наведения, обусловленная разнообразием режимов работы и условий применения, делает необходимым математическое моделирование алгоритмов функционирования и полунатурное моделирование данных систем как автономно, так и в составе авиационных комплексов. Это существенно повышает степень отработки разрабатываемых изделий на земле в лабораторных условиях и позволяет сократить сроки и стоимость разработки, существенно снизить количество облетов и пусков при проведении испытаний.

Однако, отдавая должное эффективности математического и полунатурного моделирования, необходимо понимать, что оно не освобождает от ЛКИ и ГИ опытных образцов аппаратуры. Хотя в последние годы, особенно в 90-е, 00-е да и сегодня есть попытки необоснованно сократить их объемы.

*Березанский Владимир Михайлович,
Лауреат Государственной премии,
Лауреат премии Правительства,
зам. генерального директора ЗАО «МНИТИ»*

*Рожков Константин Юрьевич,
к.т.н., начальник сектора ЗАО «МНИТИ»*



Толочков Д.В., к. т. н.

ИНФРАКРАСНАЯ СИСТЕМА ОБНАРУЖЕНИЯ МАЛОРАЗМЕРНЫХ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

В статье рассмотрены вопросы контроля движения и нахождения БПЛА и их многочисленных разновидностей в воздушном пространстве, которые различаются между собой габаритными и весовыми показателями. Представлено описание одного из возможных вариантов технической реализации пассивной аппаратуры обнаружения (контроля, регулирования движения) БПЛА в условиях городской застройки. Проведены исследования ИКС с применением охлаждаемых датчиков среднего ИК-диапазона длин волн.

Ключевые слова: радиосовместимость, телевизионная инфракрасная система, беспилотный летательный аппарат

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В связи с активным внедрением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) как гражданского, так и специального применения, значительную актуальность принимает вопрос контролирования и регулирования воздушного движения БПЛА. Традиционные технические решения (радиолокаторы) имеют физические ограничения по обнаружению и сопровождению малоразмерных, низколетящих (висящих в воздухе) объектов. Кроме этого, применение радиоизлучающей аппаратуры требует оформления разрешающих документов или просто невозможно в некоторых районах из-за вопросов радиосовместимости, экологических или медицинских ограничений.

Регламент применения пассивных систем значительно проще и не имеет ограничений по экологическим и медицинским показателям. Данные обстоятельства делают теплопеленгаторы единственным решением вопроса контроля воздушного пространства в условиях плотной жилой застройки, а также на спецобъектах, где трудно обеспечить радиосовместимость.

При постановке задачи по созданию телевизионной (ТВ) инфракрасной системы (ИКС) по обнаружению и сопровождению малоразмерных БПЛА необходимо определиться с начальными условиями. В табл. 1 приведены начальные условия по применению ИКС.

Надежность ИКС и низкую вероятность срабатывания ложных тревог должны обеспечить устойчивые селективные признаки БПЛА, представляющие со-

Таблица 1. Начальные условия по применению ИКС

n/n	Параметры, условия	Значение
1	Время суток, погодные условия	Круглосуточное, всепогодное
2	Тип БПЛА	БПЛА типа Phantom ф. DJI без выраженных цветовых признаков
3	Минимальный размер БПЛА, см	35
4	Дальность действия ИКС не менее, км	3
5	Количество БПЛА	Без ограничения
6	Диапазон скоростей БПЛА, км/ч	От 0 до 60
7	Минимальная высота полета БПЛА, м	15

бой измеряемые физические величины. К таковым можно отнести температуру БПЛА, скорость и геометрические размеры. На рис. 1 показан тепловой портрет БПЛА типа «коптер» [1].

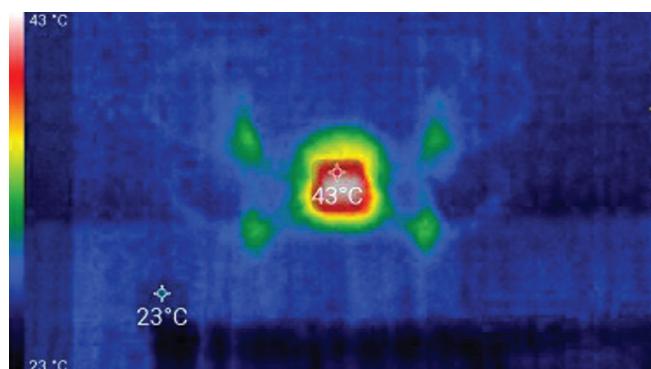


Рис. 1. Тепловой портрет БПЛА

Таким образом, ИКС должна:

- иметь инфракрасный датчик, способный обнаружить цель с температурой не менее плюс 45 °C (нагретый аккумулятор и электродвигатель, рис. 1);
- использовать селективный признак движения БПЛА и производить измерение скорости;
- использовать селективный признак геометрического размера БПЛА и производить его измерение;
- обеспечивать обзор по азимуту 360 градусов и по углу места не менее 60 градусов.

Выделенные требования являются определяющими при разработке конструкции ИКС и принципов ее работы.

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ БПЛА

Известен принцип дистанционного измерения температуры с применением инфракрасных (ИК) матричных датчиков. Такие приборы называются пирометрами и позволяют получать двумерное распределение температуры по изображению с точность порядка 0,1 градуса. Однако следует принимать во внимание условия применения пирометров, а именно:

- фиксированная незначительная дистанция измерения (максимум несколько метров),
- отсутствие влияния пропускания атмосферы,
- ручная настройка коэффициента излучательной способности объекта.

Таким образом, принципы построения пирометров не подходят для реализации отмеченных выше начальных условий. Необходимы новые подходы, учитывающие неопределенность в расстоянии до объекта, пропускания атмосферы и излучательной способности БПЛА.

За основу можно взять метод, приведенный в патентах RU2 324 152C1, RU2 552 599C1 [2, 3]. Суть метода заключается в одновременной регистрации свечение объекта в двух (или нескольких) различных, но близких диапазонах спектра, а затем по отношению полученных сигналов определить температуру объекта. В результате минимизируется влияние неопределенностей, отмеченных выше.

ИКС строится на двух ИК-датчиках, формирующих сигнал одного и того же объекта в различных, но близких участках дальнего ИК-спектра длин волн (8–14 мкм).

Приведенная ниже зависимость соответствует сигналу от первого датчика, работающего в диапазоне длин волн $\lambda_1 - \lambda_2$ [4]

$$U' = S_\lambda \cdot \varepsilon_\lambda \cdot \frac{D^2 A}{4l^2} \cdot \tau_\lambda \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (1)$$

Следующее выражение соответствует сигналу от второго датчика, работающего в диапазоне длин волн

$$U'' = S_\lambda \cdot \varepsilon_\lambda \cdot \frac{D^2 A}{4l^2} \cdot \tau_\lambda \cdot \int_{\lambda'_1}^{\lambda'_2} M(\lambda) \cdot d\lambda, \quad (2)$$

где S_λ – спектральный коэффициент чувствительности датчика, ε_λ – излучательная способность объекта, D – диаметр входного зрачка ТП, A – площадь датчика, l – дальность до объекта, τ_λ – коэффициент пропускания атмосферы, $M(\lambda)$ – энергетическая светимость объекта (функция Планка).

Допуская, что спектральный коэффициент чувствительности, излучательная способность объекта и коэффициент пропускания атмосферы в близких участках спектра $\lambda_1 - \lambda_2$ и $\lambda'_1 - \lambda'_2$ отличаются незна-

чительно получаем выражение для отношения двух сигналов.

$$I = \frac{U}{U'} = \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} M(\lambda) \cdot d\lambda}{\int_{\lambda'_1}^{\lambda'_2} M(\lambda) \cdot d\lambda}. \quad (3)$$

Результат математического моделирования отношения (3) для диапазона температур от 0 до 55 градусов и спектрального диапазона 8–14 мкм приведен на рис. 2.

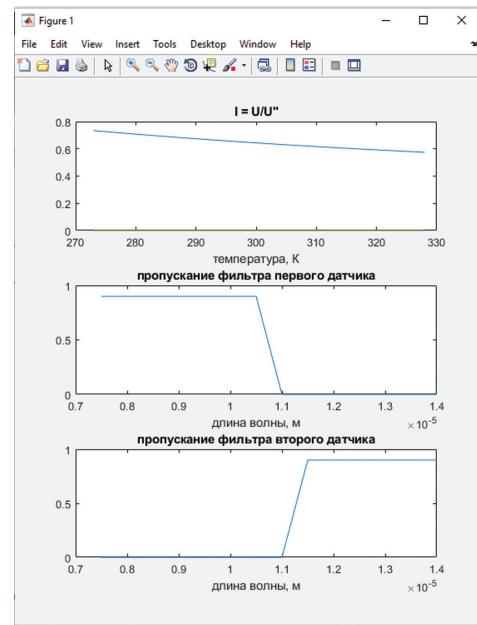


Рис. 2. Зависимость относительного сигнала от температуры объекта, пропускание фильтров первого и второго датчиков для диапазона 8–14

Из рис. 2 видно, что передаточная характеристика относительного сигнала имеет недостаточную крутизну, что является значительным недостатком. Так, например, разница сигналов от объектов, имеющих разницу в температуре 10 градусов, составляет 3%.

ОЦЕНКА СКОРОСТИ И ГЕОМЕТРИИ БПЛА

Для селекции подвижных объектов относительно статического фона предлагается алгоритм обработки изображения с вычитанием кадров. В основе алгоритма лежат следующие этапы:

- калибровка изображения по текущим внешним условиям с целью определения шумовых пороговых значений;
- вычитание текущего кадра из предыдущего с последующей пороговой обработкой, получение разностного кадра;
- разбиение разностного кадра на одинаковые сегменты 8×8 пикселей со статистическим анализом внутри каждого сегмента пикселей, прошедших пороговую обработку;
- оценка скорости приближения БПЛА и его геометрии производится за счет контроля увеличения

- масштаба изображения БПЛА по количеству за действованных соседних сегментов;
- выдача целеуказания относительно системы координат ИКС.

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЗОНЫ ОБЗОРА ИКС

Для обеспечения захвата по азимуту 360 градусов и по углу места не менее 60 градусов можно использовать кадровую сканирующую систему. Общая структурная схема ИКС приведена на рис. 3. БПЛА фиксируется входным звеном ИКС, которое выводит изображение обнаруженной цели или маркера цели на видеоконтрольное устройство (ВКУ) для оператора и передает телеметрические данные (скорость, угловые координаты) в остальные блоки локационного комплекса.

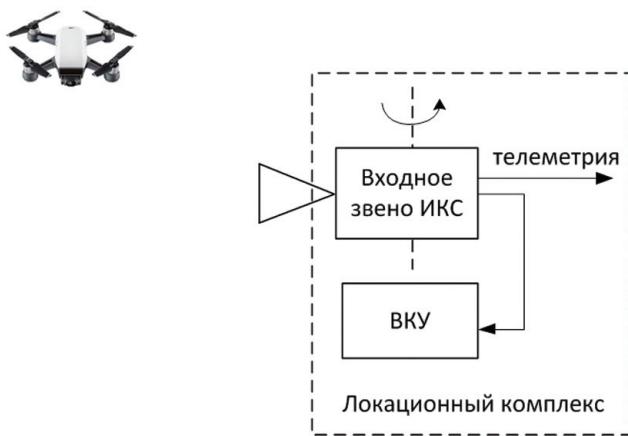


Рис. 3. Общая структурная схема ИКС

Структурная схема входного звена ИКС приведена на рис. 4.

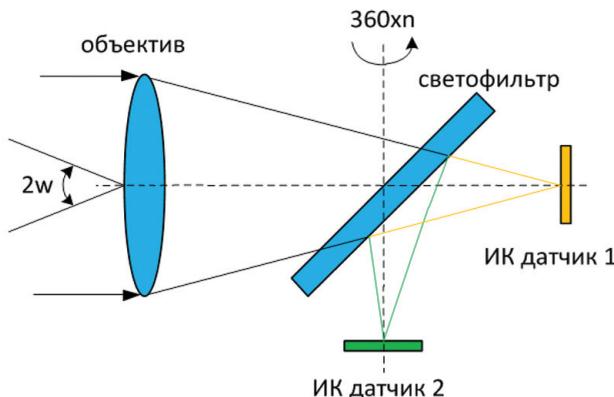


Рис. 4. Структурная схема входного звена ИКС

ИКС состоит из одного объектива ИК-диапазона длин волн, светофильтра, двух микроболометрических датчиков и привода, обеспечивающего непрерывное сканирование с постоянной угловой скоростью. В результате формируется круговое панорамное изображение пространства, ограниченное углом $2w$ по азимуту. Взяв за основу технические параметры микроболометрического датчика АСТРОН-64017 ф.

Астрон (табл. 2), определим основные конструктивные параметры ИКС исходя из начальных условий.

Таблица 2. Технические параметры датчика АСТРОН-64017

№	Параметр	Значение
1	Тип датчика	микроболометрический
2	Диапазон длин волн, мкм	8–14
3	Формат, пиксель	640×480
4	Размер пикселя, мкм	17
5	Время накопления, мс	2

Для обнаружения БПЛА необходимо обеспечить минимальный размер изображения БПЛА равный размеру одного пикселя, от сюда несложно вычислить фокусное расстояние ИКС, используя следующее выражение:

$$f' = \frac{a \cdot D}{K} = \frac{17 \cdot 10^{-6} \cdot 3000}{0,35} = 145 \text{ мм}, \quad (4)$$

где a – размер чувствительного элемента, D – дальность до БПЛА, K – линейный размер БПЛА.

Объектив со столь значительным фокусным расстоянием возможно изготовить с относительным отверстием 1:1 для обеспечения максимальной светосилы, пример подобного объектива SupIR 150mm f/1 ф. Ophir приведен на рис. 5, основные технические параметры приведены в табл. 3.



Рис. 5. Объектив SupIR 150mm f/1 ф. Ophir

Таблица 3. Основные технические параметры объектива SupIR 150mm f/1

№	Параметр	Значение
1	Диапазон длин волн, мкм	8-14
2	Фокусное расстояние, мм	150
3	Относительное отверстие	1/1
4	Масса, кг	4.1
5	Размеры, мм	195x181x181

Следует обратить внимание, что небольшой формат микроболометрической матрицы и значительное фокусное расстояние не позволяют обеспечить угловое поле зрения ($2w$) 60 градусов. Решением может служить механическая прокачка ИКС по углу места.

Принимая во внимание ограничения по смазу изображения, максимальную угловую скорость сканирования ИКС можно определить из выражения:

$$w_{\max} = \frac{a}{f \cdot t_H} = \frac{17 \cdot 10^{-3}}{145 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 3.3 \text{ град / с}, \quad (5)$$

где a – размер чувствительного элемента, f – фокусное расстояние объектива ИКС, t_H – минимальное время накопления микроболометрического приемника.

При вертикальном угловом поле ИКС $2w = 3,3$ градуса, период сканирования всего требуемого пространства составит 30 минут, что является неприемлемым. Выходом может служить применение охлаждаемых датчиком с минимальным временем накопления порядка 150 мкс. В таком случае период сканирования сократится примерно в 15 раз и снизится до 2 минут. Дальнейшее сокращение периода сканирования может быть достигнуто за счет увеличения числа каналов ИКС. В связи с этим следует обратить внимание на диапазон длин волн 3–5 мкм (средний ИК-диапазон). Основные технические параметры датчика Daphnis HD MW ф. Sofradir приведены в табл. 4.

Таблица 4. Технические параметры датчика Daphnis HD MW ф. Sofradir

№	Параметр	Значение
1	Тип датчика	Охлаждаемый КРТ
2	Диапазон длин волн, мкм	3–5
3	Формат, пиксель	1280x720
4	Размер пикселя, мкм	10
5	Минимальное время накопления, мкс	150

Результат математического моделирования отношения (3) для диапазона температур от 0 до 55 градусов и спектрального диапазона 3–5 мкм приведен на рис. 6.

Из рис. 6 видно, что передаточная характеристика относительного сигнала имеет хорошую крутизну, разница сигналов от объектов, имеющих разницу в температуре 10 градусов, составит не менее 10 %.

Применение датчиков среднего ИК-диапазона длин волн позволит значительно сократить время сканирования, увеличить в несколько раз точность измерения температуры и повысить дальность действия ИКС более чем в 2 раза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В последние годы вопросы контроля движения и нахождения БПЛА и их многочисленных разновидностей в воздушном пространстве, которые различаются между собой габаритными и весовыми показателями, встают на первый план и требует своего эффективного решения. В статье представлено описание одного из возможных вариантов технической

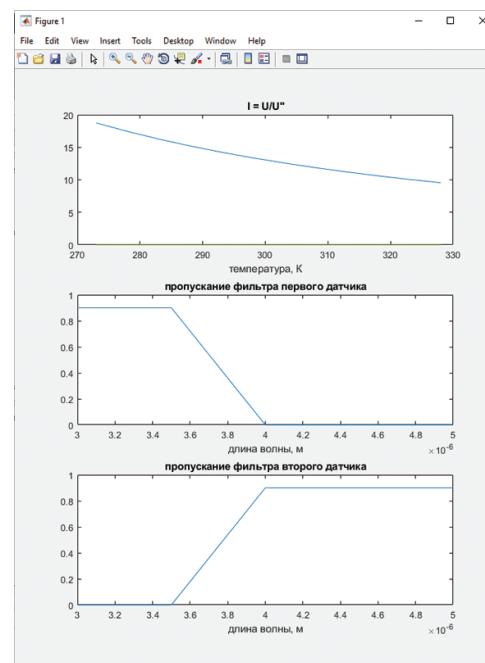


Рис. 6. Зависимость относительного сигнала от температуры объекта, пропускание фильтров первого и второго датчиков для диапазона 3–5 мкм

реализации пассивной аппаратуры обнаружения (контроля, регулирования движения) БПЛА в условиях городской застройки. Из проведенных исследований видно, что конструкция ИКС может быть выполнена на существующей элементной базе и обладает хорошими техническими характеристиками при условии применения охлаждаемых датчиков среднего ИК-диапазона длин волн.

Однако следует отметить и ряд недостатков, в числе которых высокая стоимость, низкий ресурс и конструктивная сложность в размещении светофильтра вблизи холодной зоны датчика, которые могут быть преодолены по мере совершенствования узлов и элементов ИКС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего» типа. – М.: Логос, 2004. – 444 с.
2. Патент № 2324152 РФ. Способ термографирования и устройство для его осуществления. Белашенков Н.Р., Лопатин А.И. <http://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2324152>
3. Патент № 2552599 РФ. Способ бесконтактного измерения яркостной температуры теплового поля исследуемого объекта. Цыганов В.А., Лобастов С.А., Базаров Ю.Б. <http://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=2552599>
4. <https://www.ixbt.com/dv/dji-ryze-tello-tlw004-review.html>

Толочкив Дмитрий Викторович,
к.т.н., зам. начальника отделения ЗАО «МНИТИ»



*Аликов А.Е., к. т. н.,
Толочков Д.В., к. т. н.*

ОБЪЕКТИВ С ДИСКРЕТНЫМ ИЗМЕНЕНИЕМ ФОКУСНОГО РАССТОЯНИЯ

В работе представлены результаты габаритного и aberrационного расчётов объектива с дискретным изменением фокусного расстояния, обеспечивающего регистрацию объектов в инфракрасном участке спектра электромагнитных волн (8–12 мкм).

Ключевые слова: объектив, фокусное расстояние, дискретное изменение

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для создания малогабаритных оптико-электронных тепловизионных систем, работающих в диапазоне длин волн 8–12 мкм, широко применяются фотоприёмные устройства (ФПУ), изготовленные на основе микробалометрической матрицы чувствительных элементов. Такие ФПУ не требуют охлаждения для своего функционирования и позволяют отказаться от использования сложных микрокриогенных систем и специальных криостатов, применяемых для поддержания низкой рабочей температуры. Благодаря этому достигаются малые массогабаритные характеристики, низкое энергопотребление и существенно меньшая стоимость по сравнению с охлаждаемыми ФПУ.

К объективам таких систем, в первую очередь, предъявляется требование высокого качества изображения (т. е. высокого значения концентрации энергии в пределах размера пикселя, имеющего величину 0,02 мм и менее), что обеспечивается при высоких относительных отверстиях от 1:1,6 до 1:0,8. Дополнительными требованиями являются уменьшение массогабаритных характеристик, а также возможность изменения масштаба изображения за счет изменения фокусного расстояния объектива.

Целью настоящей работы является разработка оптической системы объектива с высоким значением перепада увеличений за счет дискретного изменения фокусного расстояния, при одновременном уменьшении продольных габаритов по сравнению с аналогами и сохранении высокой светосилы и качества изображения.

ОБЗОР ИЗВЕСТНЫХ АНАЛОГОВ РАЗРАБАТЫВАЕМОГО ОБЪЕКТИВА

Известна оптическая схема объектива [1], содержащая расположенные по ходу лучей первый положи-

тельный мениск, обращённый вогнутостью к плоскости изображений, вторую двояковогнутую линзу, третий положительный мениск, обращённый вогнутостью к плоскости изображений, и четвертый положительный компонент в виде отрицательного и положительного менисков, обращенных выпуклостью друг к другу. Вторая и третья линзы перемещаются в противоположных направлениях и имеют два фиксированных положения для обеспечения двух дискретных значений фокусных расстояний ($f'_{\min} = 40$ мм и $f'_{\max} = 120$ мм), что соответствует перепаду увеличений $m = f'_{\max}/f'_{\min} = 3$.

Оптическая схема объектива [2] содержит установленные по ходу лучей первый и последний неподвижные положительные компоненты и подвижные одиночные линзы, расположенные между ними. Все элементы оптической системы изготовлены из материала одной марки. Между второй перемещающейся линзой и последним неподвижным компонентом введена дополнительная линза, которая в первом варианте имеет возможность перемещения, и подвижные линзы перемещаются без сохранения постоянного расстояния между вершинами своих преломляющих поверхностей. Во втором варианте дополнительная линза неподвижна, а подвижные компоненты перемещаются в противоположных направлениях. Переход увеличений в обоих вариантах объектива $m = 3$, а продольные габариты составляют $1,3f'_{\max}$ и $1,9f'_{\max}$ для первого и второго вариантов соответственно.

Также существует оптическая схема объектива [3], которая содержит два неподвижных положительных компонента и подвижный отрицательный компонент, расположенный между ними. Первый по ходу лучей неподвижный компонент выполнен в виде мениска, обращённого вогнутостью к плоскости изображения. Последний компонент выполнен в виде одиночного мениска, обращённого вогнутостью к плоскости изображения. Отрицательный компонент выполнен в виде одиночной двояковогнутой линзы. Между отрицательным компонентом и последним положительным компонентом дополнительно введен положительный компонент, выполненный в виде мениска, вогнутостью обращённого к плоскости изображения, жестко связанный с апертурной диафрагмой и имеющий возможность совместного с ней перемещения

вдоль оптической оси. Поверхность мениска, предшествующая апертурной диафрагме, выполнена асферической. Перепад увеличений в объективе $m = 2$, а продольные габариты составляют $1,9f'_{\max}$.

Наиболее близким по технической сущности является инфракрасный (ИК) объектив с двумя фокусными расстояниями для работы в оптических системах тепловизоров [4], состоящий из расположенных по ходу луча первого положительного мениска, обращённого вогнутостью к плоскости изображений, второго отрицательного мениска с возможностью его перемещения по оптической оси для обеспечения двух значений фокусных расстояний $f'_1 = 15$ мм и $f'_2 = 60$ мм, апертурной диафрагмы и третьего положительного мениска, обращенного вогнутостью к плоскости изображений. Первый и третий мениски содержат по одной асферической поверхности. Особенностью объектива является то, что перемещение второго мениска осуществляется за счет ввода и вывода его из оптической схемы объектива с одновременным разворотом на 180° .

Недостатками объективов [1–4] являются малое значение перепада увеличений $m = 2 \div 4$, большие продольные габариты, составляющие $(1,3 \div 1,9)f'_{\max}$, недостаточно высокое качество изображения для использования с современными ФПУ, а также сложность обеспечения раздельного точного перемещения нескольких оптических компонентов и их фиксации в требуемых положениях.

ПРИНЦИПИАЛЬНАЯ СХЕМА И ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ОБЪЕКТИВА

Основные оптические характеристики объектива, которые рассчитывались исходя из необходимости обнаружения и распознавания объектов определённых типов, выбраны следующим образом:

1) фокусные расстояния объектива $f'_{\min} = 20$ мм, $f'_{\max} = 130$ мм;

2) относительные отверстия 1:1 при $f'_{\min} = 20$ мм и 1:1,6 при $f'_{\max} = 130$ мм;

3) линейное поле зрения в пространстве изображений $2y' = 13,6$ мм;

4) длина объектива вдоль оптической оси L , не более $1,2f'_{\max}$.

На рис. 1а и 1б показана принципиальная схема ИК-объектива с дискретным изменением фокусного расстояния, а также ход лучей осевого и наклонного пучков. На рисунках обозначены следующие позиции:

1) первый компонент, состоящий из положительного мениска, обращенного вогнутостью к плоскости изображения;

2) второй компонент, первое звено которого состоит из положительного мениска, обращённого вогну-

тостью к плоскости изображения, и двояковогнутой линзы, второе звено – из двух двояковогнутых линз,

3) третий компонент, состоящий из двух положительных менисков, обращённых вогнутостью к плоскости изображения, и расположенного между ними отрицательного мениска, обращенного вогнутостью к плоскости предметов.

Рис. 1а соответствует взаимному расположению линз компонентов при $f'_{\min} = 20$ мм, а рис. 1б – при $f'_{\max} = 130$ мм.

В отличие от [4], в котором для изменения фокусного расстояния используется разворот и перемещение вдоль оптической оси одной и той же линзы, в настоящем объективе второй компонент имеет два звена, которые попеременно вводятся в ход лучей в фиксированное положение на оптической оси для дискретного изменения фокусного расстояния. При этом каждое из двух звеньев имеет свои конструктивные параметры, что позволяет добиться более высокого перепада увеличений и меньших продольных габаритов. При этом увеличивается точность установки второго подвижного компонента в ход лучей объектива за счет более простого закона перемещения звеньев компонента.

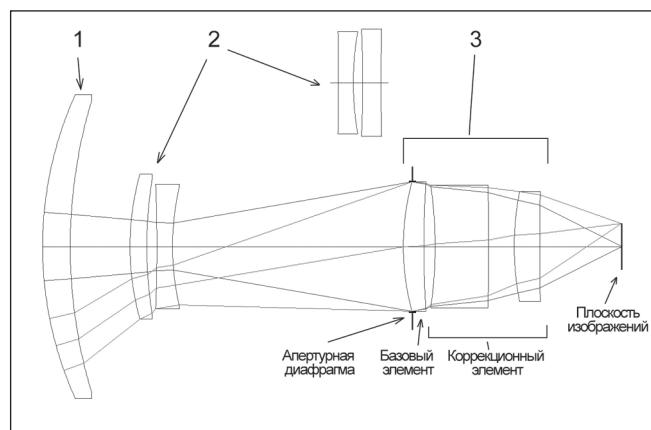


Рис. 1а. Расположение линз при $f'_{\min} = 20$ мм

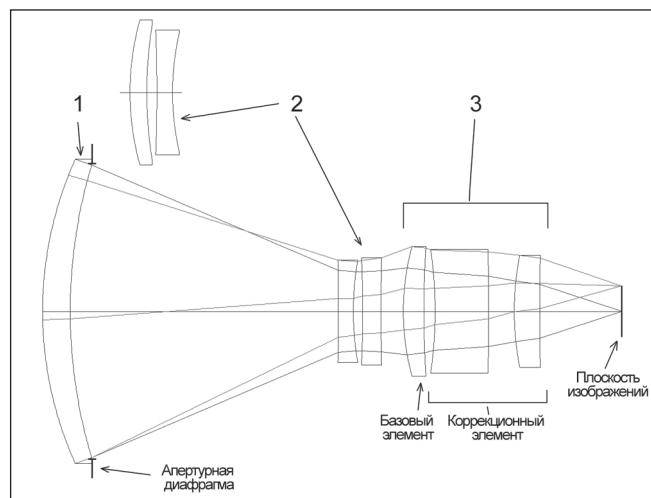


Рис. 1б. Расположение линз при $f'_{\max} = 130$ мм

Третий положительный компонент содержит два функциональных элемента, один из которых – базовый, служит для обеспечения требуемой оптической силы объектива и компенсации сдвига плоскости изображения, второй – коррекционный (асферический корректор), имеет малую оптическую силу и служит для коррекции остаточных aberrаций всего объектива, прежде всего сферической aberrации и астигматизма, за счет использования в его составе асферических поверхностей.

На обеспечение высокого качества изображения объектива также направлено изменение положения апертурной диафрагмы при смене фокусных расстояний. При минимальном значении фокусного расстояния она находится в составе третьего компонента, при максимальном – в составе первого. Такое техническое решение направлено на одновременное устранение кривизны изображения и астигматизма для максимального фокусного расстояния. Конструктивно это обеспечивается за счет ограничения световых диаметров линз, при некотором снижении относительного отверстия объектива при максимальном фокусном расстоянии по сравнению с относительным отверстием при минимальном фокусном расстоянии.

В объективе соблюдаются следующие соотношения, необходимые для обеспечения продольных габаритов, удовлетворяющих соотношению $L \leq 1,2f'_\text{max}$:

$$\frac{L_2}{L} < 0,59, \\ \begin{cases} 1,25 \leq -\frac{f_2}{f'_\square} \leq 1,33 \text{ при } f = f_\text{min}; \\ 0,15 \leq -\frac{f_2}{f'_\square} \leq 0,17 \text{ при } f = f_\text{max}. \end{cases} \quad (1)$$

где L_2 – осевая толщина второго компонента, включая расстояния до первого и третьего компонентов, L – длина объектива вдоль оптической оси от первого компонента до плоскости изображения, f'_2 – фокусное расстояние второго компонента, f'_min и f'_max – минимальное и максимальное значения фокусного расстояния объектива соответственно.

Более высокие технические характеристики разработанного ИК объектива с дискретным изменением фокусного расстояния обеспечиваются описанной выше совокупностью решений, реализованных в принципиальной схеме.

РЕЗУЛЬТАТЫ АБЕРРАЦИОННОГО РАСЧЁТА ОБЪЕКТИВА

Конструктивные параметры объектива, полученные в результате aberrационного расчёта в программе Zemax [5], приведены в табл. 1.

Таблица 1. Конструктивные параметры объектива.

№ поз.	№ пов.	Радиус, мм	Толщины, мм	Материал	Световой диаметр, мм
1	1	99,1499	7,4	Германий	81,4
	2	136,0909	16,0 / 71,8		78,3
2	3	72,2615 / -970,5541**	4,5 / 4,0	ZnSe / Германий	38,8 / 27,4
	4	114,4345 / 79,1075	2,7 / 2,5		35,8 / 26,6
	5	-461,9723 / -350,8135	4,2 / 4,9	Германий / ZnSe	33,5 / 27,2
	6	70,7713 / 534,8489	61,8 / 6		31,4 / 28,6
	7	66,1230	5,5	Германий	34,7
	8	276,8646	3,0		33,7
3	9*	-117,9148	14,3	ZnSe	32,9
	10	-1141,3564	6,9		31,6
	11	76,6567	6,8	ZnSe	29,6
	12*	1365,0702	21,87		27,8
		$L_2 = 89,20 \text{ мм}, L = 154,97 \text{ мм}, f'_2 = -25,99 / -20,50 \text{ мм}$			

* – асферическая поверхность вида;

** – числитель дроби соответствует $f'_\text{min} = 20 \text{ мм}$, знаменатель $-f'_\text{max} = 130 \text{ мм}$.

Стрелка прогиба (z) асферических поверхностей 9 и 12 определяется выражением:

$$z = \frac{y^2}{r \left(1 + \sqrt{1 - \left(\frac{y}{2} \right)^2} \right)} + a_1 y^4 + a_2 y^6 + a_3 y^8, \quad (2)$$

где y (мм) – радиальная координата; r (мм) – радиус поверхности при вершине; a_1 (мм^{-3}), a_2 (мм^{-5}), a_3 (мм^{-7}) – коэффициенты асферической поверхности (таблица 2).

Таблица 2. Коэффициенты асферических поверхностей

№ поверхности	$a_1, \text{мм}^{-3}$	$a_2, \text{мм}^{-5}$	$a_3, \text{мм}^{-7}$
9	$-7,286 \cdot 10^{-7}$	$1,668 \cdot 10^{-9}$	$-2,603 \cdot 10^{-13}$
12	$-2,053 \cdot 10^{-6}$	$2,275 \cdot 10^{-9}$	$-7,286 \cdot 10^{-13}$

Первая линза третьего компонента является базовым элементом, а оставшиеся две – асферическим корректором.

При минимальном фокусном расстоянии апертурная диафрагма совпадает с первой поверхностью базовой линзы третьего компонента, при максимальном – со второй поверхностью мениска первого компонента. Относительное отверстие объектива определяется световыми диаметрами данных поверхностей и составляет 1:1 при $f'_\text{min} = 20 \text{ мм}$ и 1:1,6 при $f'_\text{max} = 130 \text{ мм}$.

Перепад увеличений объектива $m = 6,5$, длина объектива от первой линзы до плоскости изображения составляет 154,97 мм, что не превышает $1,2f'_{\max}$. В объективе соблюдаются следующие соотношения:

$$\frac{L_2}{L} < 0,58,$$

$$\left\{ \begin{array}{l} -\frac{f'_2}{f'_\square} \leq 1,30 \text{ при } f'_{\min} = 20 \text{ мм;} \\ -\frac{f'_2}{f'_\square} \leq 0,16 \text{ при } f'_{\max} = 130 \text{ мм.} \end{array} \right. \quad (3)$$

На рис. 2а, 2б приведены графики полихроматической функции передачи модуляции (ПФПМ) ИК объектива с дискретным изменением фокусного расстояния в меридиональной (m) и сагиттальной (c) плоскостях, для $f'_{\min} = 20$ мм и $f'_{\max} = 130$ мм соответственно. По оси ординат указаны коэффициенты передачи модуляции в относительных единицах, по оси абсцисс – пространственные частоты в диапазоне от 0 до 30 мм^{-1} (соответствует частоте Найквиста для матричного приемника излучения с размером пикселя 17 мкм), отнесённые к плоскости изображений объектива. Верхняя кривая на графиках, приведенных на рис. 2а и 2б, соответствует дифракционной ПФПМ, остальные кривые – ПФПМ для различных точек изображения в пределах рабочего поля $2y' = 13,6$ мм.

Графики подтверждают, что качество изображения объектива близко к дифракционному пределу и является достаточным для работы с современными матричными инфракрасными ФПУ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный ИК-объектив с дискретным изменением фокусного расстояния, может быть применён для работы в дальней инфракрасной области спектра 8–12 мкм в составе оптических систем тепловизоров различного назначения, в том числе приборов смотрящего типа, использующих матричные приемники излучения.

Достоверность данных, изложенных в настоящей работе, и соответствие их уровню техники, подтверждается положительным решением о выдаче патента на изобретение от 04.07.2019 г., заявка №2018143759(072921).

ЛИТЕРАТУРА

- Патент RU №2348954. Инфракрасный объектив с переменным фокусным расстоянием. Опубл. 10.03.2009. Бюл. № 7.

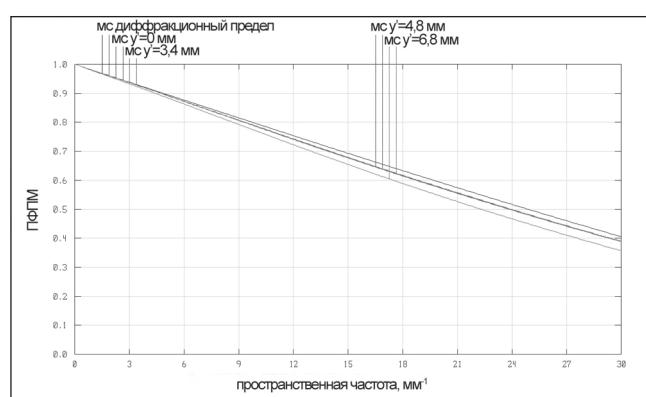
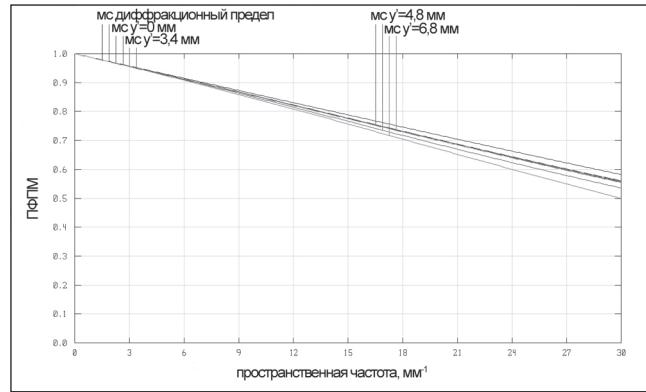


Рис. 2. Графики полихроматической функции передачи модуляции ИК объектива с дискретным изменением фокусного расстояния

2. Патент RU №2339983. Линзовый объектив с изменяемым фокусным расстоянием для работы в ИК-области спектра (варианты) Опубл. 27.11.2008. Бюл. № 33.

3. Патент RU №2316797. Линзовый объектив с изменяемым фокусным расстоянием для работы в ИК-области спектра. Опубл. 10.02.2008 Бюл. № 4.

4. Патент RU №2578268. Инфракрасный объектив с переменным фокусным расстоянием. Опубл. 27.03.2016. Бюл. № 9.

5. ZEMAX Optical Design Program. User's Guide. Version 10.0. Tucson (Arizona, USA): Focus Software, Incorporated, 2003. 478 p.

Алимов Андрей Евгеньевич,
к.т.н., главный специалист отдела ЗАО «МНИТИ»

Толочкин Дмитрий Викторович,
к.т.н., зам. начальника отделения ЗАО «МНИТИ»



*Барсуков А.Г. к. т. н.
Назаров С.В., д. т. н., профессор*

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Технология обеспечения надежности и высокой производительности на основе параллельных вычислений стала преобладающей в бортовых вычислительных системах (БВС). Такие системы находят широкое применение в авиационной и космической технике, а также в наземных и водных подвижных объектах. Эффективность выполнения поставленных задач, безопасность, эксплуатационная пригодность и ряд других важных качеств подвижных объектов в значительной мере определяются способностью БВС выполнять свои функции в условиях жестких временных ограничений. Выполнение этих требований приводит к необходимости организации параллельных вычислительных процессов. Для решения задачи оптимизации вычислительного процесса БВС используются методы сетевого планирования и управления, теория параллельных вычислительных процессов и расписаний.

Ключевые слова: многопроцессорная система, информационно-связанные задачи, ярусно-параллельная форма, параллельный вычислительный процесс.

ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В СИСТЕМАХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Введение. Большая часть алгоритмов (программ), используемых в современных бортовых вычислительных системах (БВС), обладает достаточным внутренним параллелизмом, который может быть реализован многопроцессорными (многоядерными) бортовыми системами. Сложность этого подхода связана с тем, что архитектура аппаратных средств многопроцессорной системы зачастую фиксируется на этапе проектирования и остается неизменной на время выполнения программ. Это означает, что разработчик должен выбирать соответствующую систему для предполагаемых приложений. С этой целью разработчик должен разбить приложение на части, рассмотреть возможности параллелизма при выполнении приложения и выбрать соответствующую систему для своего приложения. Ограничением такого подхода является недостаток существующих многопроцессорных систем, заключающийся в отсутствии адаптивности на стадии разработки и во время выполнения программы.

Программируемая разработчиком логическая матрица предлагает более гибкое решение, потому что

с ее помощью аппаратные средства можно переконфигурировать с новыми функциями и использовать повторно с различными приложениями. Некоторые поставщики программируемых пользователем логических матриц (компания Xilinx) предлагают специальную функцию, называемую динамическим и частичным переконфигурированием. Это означает, что часть аппаратных средств системы может быть изменена во время выполнения программы, а оставшаяся часть остается действующей и неизменной.

В данной статье рассмотрим возможное решение в рамках первого подхода, позволяющее на основе анализа приложения определить целесообразную структуру многопроцессорной системы с выполнением требований на время выполнения приложений.

1.1. Постановка задачи

Пусть задана структура приложения, состоящего из некоторого множества информационно-связанных частей (задач) с известным (ожидаемым) временем выполнения каждой задачи. Предполагается, что это время определяется элементарным вычислителем (процессором или ядром) многопроцессорной бортовой вычислительной системы. Структуру подлежащего выполнению приложения удобно представить графом, например, как это показано на рис. 1, который будем далее использовать для иллюстрации решения поставленной задачи [1]:

$G = \{z_i, t_i\} | i = 1, \dots, M\}$, где z_i – номер задачи (вершины) в графе (первая цифра), t_i – время решения задачи (вторая цифра в вершине графа), M – количество задач в пакете G .

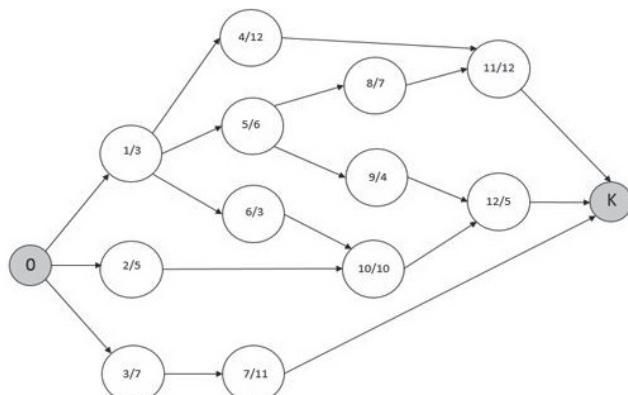


Рис. 1. Граф решаемых задач

В нашем примере вычисления начинаются в вершине О и завершаются в вершине К (здесь вершины О и К – фиктивные, используются как исходная и завершающая точки процесса выполнения задач). Дуги графа представляют собой передачу результатов вычислений от задачи z_i к задаче z_j . Длительность передачи является весом дуги, обозначим ее соответственно t_{ij} . Поскольку предполагается, что решение набора задач производится на мультипроцессоре и оперативная память является общей для всех процессоров, будем считать, что $t_{ij} = 0$.

Требуется организовать вычислительный процесс многопроцессорной (многоядерной) бортовой вычислительной системы таким образом, чтобы выполнить все задачи набора за минимально возможное в данной системе время, т.е. найти такое расписание выполнения задач по процессорам:

$Schedule_Z = \{z_i, t_{h(i)}, t_{s(i)}, n_i\}$, которое обеспечивает $\min T_Z$ при заданном количестве вычислителей, где $t_{h(i)}$ – время начала выполнения задачи z_i , $t_{s(i)}$ – время завершения выполнения задачи z_i , n_i – номер процессора, выделенного для выполнения задачи z_i .

1.2. Решение задачи

Проверка возможности организации параллельного вычислительного процесса.

Известно, что существующий в графе задач G критический путь определяет минимальный срок выполнения всех работ, т. е. в нашем случае минимальное время выполнения заданного набора задач. Для нахождения перечня вершин, образующих критический путь, и его длины можно использовать различные методы, в том числе метод линейного программирования.

Потенциальную параллельность выполнения заданного набора задач можно определить, преобразовав граф задач в ярусно-параллельную форму [2]. Ярусно-параллельная форма графа (**ЯПФ**) – деление вершин ориентированного ациклического графа на перенумерованные подмножества V_j , такие, что, если дуга идет от вершины $v_l \in V_j$, к вершине $v_m \in V_k$, то обязательно $j < k$.

Каждое из множеств V_j называется ярусом ЯПФ, j – его номером, количество вершин $|V_j|$ в ярусе – его шириной. Количество ярусов в ЯПФ называется ее высотой, а максимальная ширина её ярусов – шириной ЯПФ. Для ЯПФ графа алгоритма важным является тот факт, что операции, которым соответствуют вершины одного яруса, не зависят друг от друга (не находятся в отношении связи), и поэтому заведомо существует параллельная реализация алгоритма, в которой они могут быть выполнены параллельно на разных устройствах вычислительной системы. Поэтому ЯПФ графа алгоритма может быть использована для подготовки такой параллельной реализации алгоритма.

Минимальной высотой всех возможных ЯПФ графа является его критический путь. Построение ЯПФ с высотой, меньшей критического пути, невозможно. Если в составе яруса могут быть вершины, находящиеся в различных отношениях (например, параллельности или альтернативы, что типично для граф-схем параллельных алгоритмов), ярус называется сечением, а ЯПФ – множеством сечений. Наличие более одного отношения между вершинами сечения существенно усложняет большинство алгоритмов обработки.

Для получения ЯПФ предварительно необходимо построить матрицу смежности исходного графа. Матрица смежности – это квадратная матрица размерностью $(M + 1) \times (M + 1)$, где M – число вершин графа, однозначно представляющая его структуру. Обозначим ее как $A = |a_{ij}|$, где каждый элемент матрицы определяется следующим образом: $a_{ij} = 1$, если есть дуга (ij) , $a_{ij} = 0$, если нет дуги (ij) . В нашем примере матрица смежности будет иметь следующий вид, приведенный на рис. 2.

Алгоритм распределения модулей системы по уровням:

1. Находим в матрице нулевые строки. В нашем случае это только одна строка с номером 13.
2. Вершина с этим номером образует нулевой уровень ЯПФ.
3. Вычеркиваем столбцы с номерами найденных вершин. В нашем случае – столбец 13.
4. Находим в матрице нулевые строки (7, 11, 12). Это вершины 1-го уровня.
5. Вычеркиваем столбцы с номерами 7, 11, 12.
6. Находим в матрице нулевые строки (3, 4, 8, 9 и 10). Это вершины 2-го уровня.
7. Вычеркиваем столбцы с номерами найденных вершин.
8. Находим в матрице нулевые строки (2, 5, 6). Это вершины 3-го уровня.
9. Вычеркиваем столбцы с номерами 5, 6.
10. Вершина с номером 1 образует 4-й уровень.

		номер вершины													
		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
номер вершины	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0
	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	3	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
	5	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
	13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Рис. 2. Матрица смежности

Полученная таким образом ЯПФ заданного набора задач представлена на рис. 3. Алгоритм определя-

ния критического в ЯПФ приведен в [3–4]. В нашем случае это довольно просто сделать перебором всех возможных путей. Такой путь длиной в 28 единиц процессорного времени образует последовательность вершин $W_{kp} = \{1, 5, 8, 11\}$. Из рисунка следует, что высота ЯПФ равна четырем, минимальная ширина — $B_{min} = 1$, а максимальная — $B_{max} = 5$. Таким образом граф задач далеко не прямоугольный, что неудобно для организации параллельного вычислительного процесса. Визуально из рис. 3 понятно, что граф можно легко переформатировать, не меняя связей между вершинами, например, можно переместить вершину 3 на 4-й уровень. Что же касается вершины 2, то для ее перемещения на уровень 4, нужно проверить, не приведет ли этот шаг к задержке выполнения вершины 10.

А если и задержит, то это не должно привести к увеличению длины критического пути. Действительно, начало времени выполнения вершины 10 зависит от времени завершения вершин 2 и 6. Однако пока неизвестно, какая вычислительная производительность будет выделена на каждый ярус, ответить на этот вопрос невозможно. Поэтому окончательное расписание вычислительного процесса можно составить только после решения вопроса о количестве процессоров, выделенных для решения задач, представленных графиком G .

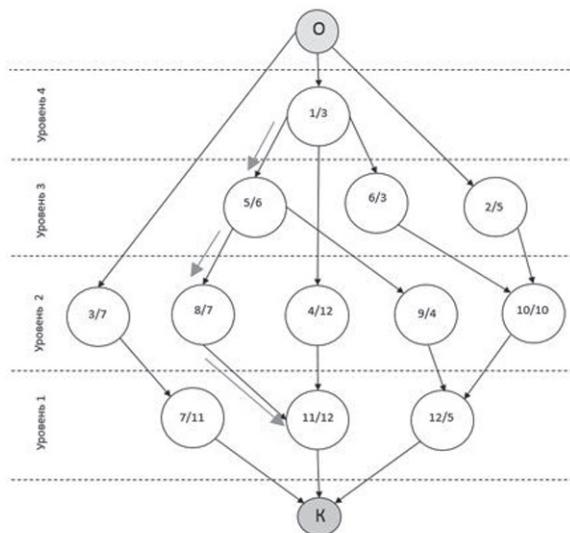


Рис. 3. Граф задач в ЯПФ

Выбор количества процессоров для параллельного вычислительного процесса

Далее будем считать, что можно использовать некоторое количество процессоров в заданном диапазоне. Предварительно целесообразно определить минимальную вычислительную мощность T_{min} , которая позволит реализовать заданный набор задач. Ее легко найти, просуммировав времена реализации всего набора задач:

$$T_{min} = \sum_{i=1}^{M-1} t_i.$$

В нашем примере $T_{min} = 85$. При этом вычислительная нагрузка по ярусам неравномерна и составляет следующие значения:

$$T_1 = 28, T_2 = 40, T_3 = 14, T_4 = 3. \quad (1)$$

Также неравномерна и ширина ярусов графа G :

$$B_1 = 3, B_2 = 5, B_3 = 3, B_4 = 1. \quad (2)$$

Очевидной является необходимость перестройки ЯПФ графа решаемых задач. Однако, как следует из рис. 3, вершины 2 и 3 можно передвинуть в четвертый ярус, а вершину 4 — в третий ярус, получив тем самым более прямоугольную ЯПФ (рис. 4). После такой реорганизации графа вычислительная нагрузка по ярусам составит следующие значения:

$$T_1 = 28, T_2 = 21, T_3 = 21, T_4 = 15. \quad (3)$$

Ширина ярусов становится одинаковой и равна трем. Для дальнейшего упрощения задачи можно поступить следующим образом. Выделим отдельный процессор на реализацию критического пути в графе. Его загрузка составит 28 единиц. Для выполнения оставшейся вычислительной работы, равной 57 единицам, потребуется как минимум 2 процессора. Однако при этом неизбежно превышение времени выполнения всего набора задач по сравнению с найденным временем критического пути. Кроме того, встает вопрос о том, какие из оставшихся задач (кроме входящих в критический путь) на какой процессор необходимо назначить. При этом желательно обеспечить равномерность загрузки процессоров.

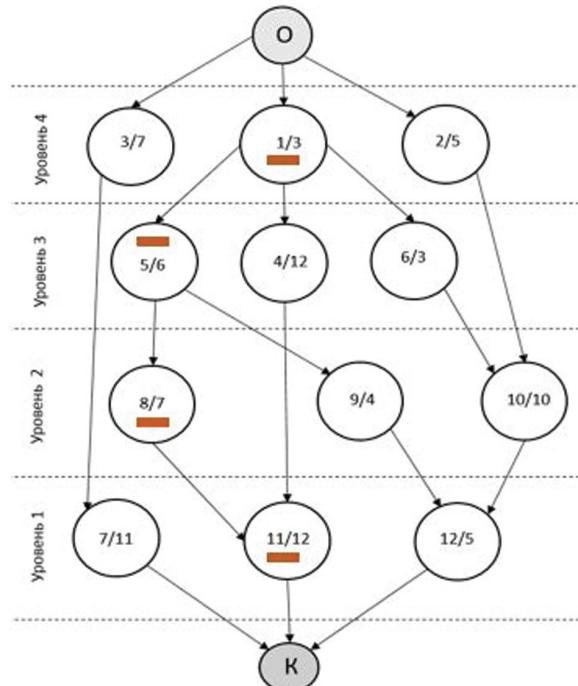


Рис. 4. Преобразованная ЯПФ

Рассмотрим возможную постановку задачи в данной ситуации. Размещение задач по процессорам удобно представить двудольным графом вида $G = (Z, P, E)$, где E – множество дуг, отображающих размещение множества задач. Требуется так распределить множество задач $Z' = \{z_2, z_3, z_4, z_6, z_7, z_9, z_{10}, z_{12}\}$ по процессорам P (второй и третий), чтобы разница в загрузке процессоров была минимальной и все задачи Z были выполнены. Если ограничений на размещение задач по процессорам нет, то в таком графе каждая вершина $z_i \in Z'$ соединена дугами со всеми вершинами P (рис 5). Поставим в соответствие дугам E графа G множество переменных $X = \{x_{ij} \mid i \in I, j = 2, 3\}$. Каждая переменная x_{ij} образуется по правилу $x_{ij} = 1$, если будет принято решение выполнять задачу z_i на втором процессоре p_2 (первый процессор выделен на задачи критического пути). В противном случае $x_{ij} = 0$ и задача выполняется на третьем процессоре.

Применимально к графовой интерпретации задача сводится к отысканию частичного графа $G_o = (Z, P_o, E_o)$, где $E_o \subseteq E$. При этом множество найденных дуг E_o определит значение булевых переменных $X_o = \{x_{ij} \mid i \in I, j = 2, 3\}$.

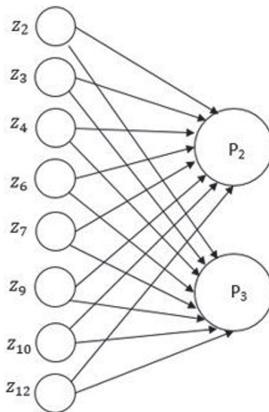


Рис. 5. Графовая интерпретация задачи о назначениях

$$C = \sum_{i \in I} \sum_{j=2}^{j=3} t_{ij} \cdot x_{ij} - \sum_{i \in I} \sum_{j=3} t_{ij} \cdot x_{ij} \longrightarrow \min. \quad (4)$$

Определим ограничения задачи. Первая группа ограничений связана с тем фактом, что каждая задача в результате решения должна быть назначена только на один вычислитель. Это условие записывается следующим соотношением:

$$\forall i \sum_{j=2}^{j=3} x_{ij} = 1. \quad (5)$$

Вторая группа ограничений должна обеспечить равномерную нагрузку процессоров. Поскольку общая загрузка второго и третьего процессоров составляет 57 единиц, целесообразны следующие ограничения по загрузке каждого процессора:

$$\sum_{i \in I} t_{ij} \cdot x_{ij} \leq 28, j = 2, 3. \quad (6)$$

Поскольку все переменные задачи – двоичные, вторая группа ограничений имеет следующий вид:

$$\forall x_{ij} \in \{0, 1\}. \quad (7)$$

Решение легко получить в электронных таблицах (рис. 6). По полученному решению распределение задач по процессорам представлено на рис. 7.

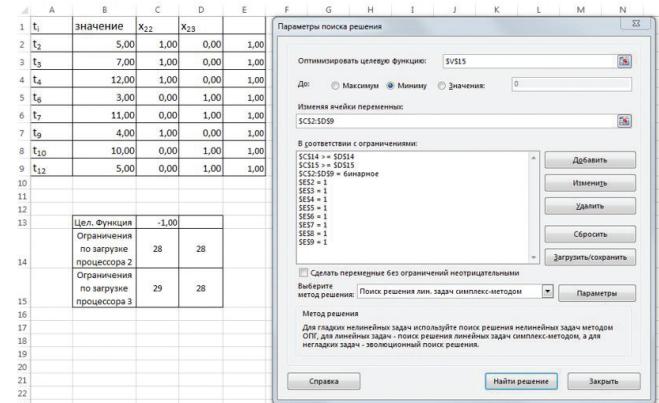


Рис. 6. Решение задачи (4) – (7) о распределении задач по процессорам

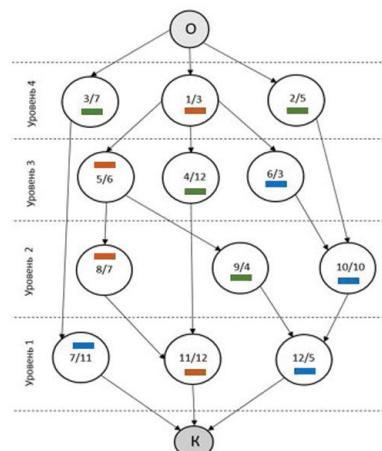


Рис. 7. Распределение задач по процессорам (оранжевый – 1-й процессор, зеленый – 2-й процессор, синий – 3-й процессор)

Разработка расписания

Согласно полученному решению загрузка процессоров распределяется следующим образом: процессор 1 – 28; процессор 2 – 26; процессор 3 – 29. Однако анализируя граф, представленный на рис. 8, легко видеть, что на первом и четвёртом уровнях занято не три, а два процессора. Кроме того, такое распределение задач по процессорам не учитывает их информационной связности. Поэтому при разработке расписания необходимо учитывать следующие два обстоятельства:

1. Задержка в завершении задач, не лежащих на критическом пути, до определенного момента мо-

жет не влиять на срок завершения всего набора задач. Такие задачи обладают резервом времени – таким промежутком времени, на который может быть отсрочено завершение задачи без нарушения сроков завершения критического пути.

2. При составлении расписания с целью сокращения возможных простоев можно переносить выполнение запланированной к выполнению задачи с одного процессора на другой, если при этом не меняется последовательность выполнения, обусловленная информационными связями задач. Такая возможность связана с тем, что процессоры имеют общую память.

Резерв времени показывает, сколько имеется в запасе времени для выполнения данной задачи, на которое можно увеличить продолжительность данной задачи, не изменяя при этом продолжительности пути, которому принадлежит задача. Резерв времени задачи определяется как разность между наиболее поздним и ранним сроками выполнения задачи и временем выполнения самой задачи. Поздний срок – это такой срок завершения задачи, превышение которого вызовет задержку в реализации задач, лежащих на критическом пути. Определим резервы времени, исходя из условия, что время завершения задачи не должно увеличивать величину критического пути. Для этого вначале определяем наиболее ранние сроки начала выполнения задач, рассматривая вычислительный процесс, начиная с вершины О:

1) Для задач уровня 4:

$$t_1^P = 0; t_2^P = 0; t_3^P = 0.$$

2) Для задач уровня 3 (здесь надо учитывать наиболее раннее выполнение задач предшествующего уровня):

$$t_4^P = 3; t_5^P = 3; t_6^P = 3.$$

3) Для задач уровня 2:

$$t_8^P = 9; t_9^P = 9; t_{10}^P = 6.$$

4) Для задач уровня 1:

$$t_7^P = 7; t_{11}^P = 16; t_{12}^P = 16.$$

После этого определяем наиболее поздние сроки завершения задач, начиная с вершины К:

1) Для задач уровня 1:

$$t_7^{\Pi} = 28; t_{11}^{\Pi} = 28; t_{12}^{\Pi} = 28.$$

2) Для задач уровня 2:

$$t_8^{\Pi} = 16; t_9^{\Pi} = 23; t_{10}^{\Pi} = 23.$$

3) Для задач уровня 3:

$$t_4^{\Pi} = 16; t_5^{\Pi} = 9; t_6^{\Pi} = 13.$$

4) Для задач уровня 4:

$$t_1^{\Pi} = 3; t_2^{\Pi} = 13; t_3^{\Pi} = 17.$$

Определяем резервы времени для выполняемых задач, которые могут быть использованы для снижения возможных простоев процессоров:

1) Для задач уровня 4:

$$R_1 = 3 - 0 - 3 = 1; R_2 = 13 - 0 - 5 = 8; R_3 = 17 - 0 - 7 = 10.$$

2) Для задач уровня 3:

$$R_4 = 16 - 3 - 12 = 1; R_5 = 9 - 3 - 6 = 0; R_6 = 13 - 3 - 3 = 7.$$

3) Для задач уровня 2:

$$R_8 = 16 - 9 - 7 = 0; R_9 = 23 - 9 - 4 = 10; R_{10} = 23 - 6 - 10 = 7.$$

4) Для задач уровня 1:

$$R_7 = 28 - 7 - 11 = 10; R_{11} = 28 - 16 - 12 = 0;$$

$$R_{12} = 28 - 16 - 5 = 7.$$

Построим диаграмму загрузки процессоров, исходя из поясной последовательности выполнения задач. Очевидно, что задачи с нулевым значением резерва времени принадлежат критическому пути и должны выполняться без задержек. Следующими должны выполняться задачи с минимально возможными резервами времени и т. д. При этом следует учитывать наличие информационной связи между задачами. Построить оптимальный план распределения задач по процессорам с учетом этих условий достаточно сложно, поскольку данная задача относится к классу NP-полных. Поэтому целесообразно использовать эвристические алгоритмы, дающие достаточно хорошее решение.

Пример эвристического алгоритма:

1. Рассматриваем задачи высшего уровня N . Назначаем на процессоры задачи, готовые к выполнению.

2. Переходим к следующему уровню $N = N - 1$ (уровень 3). Если $N = 0$, конец.

3. На процессор с минимальным временем освобождения назначаем задачу яруса, имеющую минимальный резерв времени на выполнение.

4. Если не все задачи текущего уровня назначены на процессоры, переходим к п. 3 алгоритма. Если все задачи текущего уровня назначены на процессоры, переходим к п. 2.

Построим расписание, используя этот алгоритм.

1. Рассматриваем задачи высшего уровня $N = 4$. Назначаем на процессоры задачи, готовые к выполнению. В нашем случае это задачи z_1, z_2, z_3 .

2. Переходим к следующему уровню $N = N - 1$ (уровень 3).

3. На процессор с минимальным временем освобождения (в нашем случае процессор 1, красный цвет на диаграмме) назначаем задачу яруса, имеющую минимальный резерв времени на выполнение. Это задача z_5 .

4. На процессор с минимальным временем освобождения (в нашем случае процессор 1, красный цвет на диаграмме) назначаем задачу яруса, имеющую ми-

нимальный резерв времени на выполнение. Это задача z_5 .

5. Так как не все задачи уровня 3 назначены на процессоры, выбираем задачу текущего уровня с минимальным резервом времени. Это задача z_4 . Назначаем ее на процессор с минимальным временем освобождения (процессор 3).

6. Оставшуюся задачу уровня 3 z_6 назначаем на процессор 2. Все задачи текущего уровня назначены. Переходим к п. 2 алгоритма, $N = 3 - 1$. Переход на уровень 2.

7. На процессор 1 назначаем задачу z_8 , имеющую нулевой резерв времени. На процессоры 2 и 3 назначаем задачи z_{10} и z_9 . Все задачи уровня 2 назначены. Переходим к п. 2 алгоритма, $N = 2 - 1$. Переход на уровень 1.

8. На процессор 1 назначаем задачу z_{11} , имеющую нулевой резерв времени. На процессоры 2 и 3 назначаем оставшиеся задачи.

9. Все задачи уровня 1 назначены. Переходим к п. 2 алгоритма, $N = 1 - 1 = 0$. Конец.

Как видно из диаграммы (рис. 8), время реализации заданного пакета задач составляет 31 единицу времени при длине критического пути 28 единиц.



Рис. 8. Диаграмма загрузки процессоров для поясного выполнения задач

Дальнейшее улучшение расписания можно получить, учитывая тот факт, что в полученном расписании загрузка процессоров неравномерная и, следовательно, имеется возможность улучшения плана за счет увеличения загрузки третьего процессора. Это можно получить, если вместо задач 9 и 12 на этом процессоре выполнять задачу 7, а задачи 9 и 12 выполнять на втором процессоре. Для проверки возможности такой замены нужно пересчитать времена наиболее позднего завершения этих задач, исходя из реально возможного значения критического пути, который в нашем примере равен 29. Такая проверка показывает, что перестановка возможна. Скорректированный план загрузки процессоров представлен на рис. 9. Заметим, что еще одну возможность оптимизации плана дает допустимость прерывания задачи и продолжение ее решения на другом процессоре.



Рис. 9. Итоговая диаграмма загрузки процессоров

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенный пример оптимизации параллельного вычислительного процесса в системах реального времени позволяет сделать следующие выводы:

1. Для планирования параллельного вычислительного процесса в бортовых вычислительных системах возможно использование ярусно-параллельные формы представления наборов решаемых задач. Такое представление позволяет предварительно определить требуемое количество процессоров и минимально возможное время реализации заданного набора задач.

2. Предварительное распределение решаемых задач по процессорам системы можно получить решением задачи о назначениях методом булевого линейного программирования.

3. Определение наиболее ранних и наиболее поздних моментов начала и завершения задач в ряде случаев позволяет улучшить первоначальное распределение задач по процессорам.

4. Улучшение полученного плана реализации задач и устранение обнаруженных простоев процессоров слабо поддается формализации и требует «ручной доработки».

ЛИТЕРАТУРА

1. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. – СПб.: БХВ – Петербург, 2004. – 608 с.
2. Боресков А. В. и др. Параллельные вычисления на GPU. Архитектура и программная модель CUDA. – М.: Изд. МГУ, 2012. – 336 с.
3. Сетевой график. [Электронный ресурс]. URL: http://www stroitelstvo-new.ru/1/setevoy_grafik.shtml
4. Вагнер Г. Основы исследования операций. Том 1. Пер. с англ. Изд. «МИР». – М.: 1972. – 336 с.

*Барсуков Алексей Григорьевич,
к.т.н., профессор Академии военных наук,
зам. генерального директора ЗАО «МНИТИ»*

*Назаров Станислав Викторович,
д.т.н., профессор, действительный член
Международной академии информатизации,
главный специалист ЗАО «МНИТИ»*



*Аликов А.Е., к. т. н.,
Колотовкин С.А.,
Шавкунов О.В.*

ТЕЛЕВИЗИОННЫЙ ЦИФРОВОЙ АВТОКОЛЛИМАТОР

В работе рассмотрен принцип действия визуального автоколлиматора АК-0,5У выявлены его недостатки, связанные со скоростью выполнения измерений, и предложен путь их устранения за счёт использования методов и средств прикладного телевидения.

Ключевые слова: оптические методы измерений, автоколлиматор, угловое перемещение

ВВЕДЕНИЕ

В процессе изготовления, юстировки и испытаний приборов, содержащих сложные оптические и механические узлы, зачастую возникает необходимость измерения и контроля различных угловых размеров, с целью определения точности взаимного расположения осей и плоскостей в пространстве друг относительно друга.

Данная задача может быть эффективно решена за счёт применения оптических методов измерений. Главная особенность таких методов заключается в том, что они имеют высокую точность и наглядность, позволяя наблюдателю «видеть» погрешности измеряемого или контролируемого объекта [1]. Также к преимуществам оптических методов можно отнести то, что они являются бесконтактными, а значит исключается возможность механического повреждения изделия.

Одним из видов оборудования, позволяющего выполнять измерение углов оптическими методами, являются автоколлимационные приборы, в частности визуальный автоколлиматор АК-0,5У.

Данная работа посвящена модернизации визуального автоколлиматора АК-0,5У при помощи телевизионной камеры с целью повышения эффективности измерений угловых перемещений объекта, совершающего быстрые колебательные движения.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Автоколлиматор АК-0,5У представляет собой зрительную трубу с автоколлимационной окулярной головкой. Головка, помимо линзового окуляра, содержит подсвечиваемый тест-объект и отсчётный механизм – окуляр-микрометр. Принцип действия заключается в измерении смещения автоколлимационного изображения тест-объекта относительно центра основной шкалы окуляр-микрометра.

Объектив автоколлиматора формирует излучение от тест-объекта на выходном зрачке в виде параллельных пучков лучей. Данные пучки, отразившись от объекта измерения, возвращаются в объектив и строят изображение тест-объекта на минутной шкале отсчётного механизма прибора.

Если плоскость объекта измерения, от которой происходит отражение перпендикулярна визирной оси автоколлиматора, то смещения изображения тест-объекта от центра шкалы не происходит. При повороте плоскости на угол φ отражённые от неё лучи поворачиваются на двойной угол 2φ , и изображение тест-объекта смещается от центра шкалы на величину:

$$a = 2f_{06} \operatorname{tg}\varphi,$$

где f_{06} – фокусное расстояние объектива автоколлиматора. Таким образом, увеличивая фокусное расстояние объектива, можно получить значительное смещение изображения при небольшом угле φ . Это свойство автоколлиматора позволяет применять его для измерения углов, составляющих единицы угловых секунд. Для этого в окуляр-микрометре автоколлиматора АК-0,5У, помимо минутной, предусмотрена также шкала для отсчёта угловых секунд. Однако если для определения количества угловых минут необходимо в поле зрения окуляра непосредственно посчитать количество штрихов, на которое сместились изображение тест-объекта относительно центра, то для снятия отсчёта по секундной шкале необходимо предварительно вращением маховичка окуляр-микрометра совместить изображение тест-объекта с ближайшим делением минутной шкалы. Таким способом возможно проводить измерения в том случае, когда объект статичен в пределах времени, достаточного оператору для совершения всех необходимых манипуляций с окуляр-микрометром. Но если ставится задача измерения амплитуды поворота объекта, совершающего колебания с высокими угловыми частотами, такой визуальный способ измерений не подходит.

Таким образом, появляется необходимость модернизации отсчётного устройства автоколлиматора АК-0,5У с целью повышения эффективности измерений за счет увеличения их скорости при сохранении необходимой точности.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ РЕШЕНИЯ ПОСТАВЛЕННОЙ ЗАДАЧИ

Естественным направлением развития и модернизации визуальных измерительных приборов является расширение их функциональности за счёт применения методов и средств прикладного телевидения.

В настоящее время автоматизированные телевизионно-вычислительные комплексы успешно решают задачи измерения геометрических размеров, углов перемещений, координат и других параметров протяженных и малоразмерных (точечных) объектов с точностью не меньшей, а порой и превышающей точность традиционных оптико-электронных приборов [2]. Это связано с такими их свойствами, как:

- видеорегистрация процесса измерения;
- удобство соединения телевизионного датчика с компьютерной техникой и, как следствие, широкие возможности, связанные с обработкой, анализом и хранением полученных данных;
- быстродействие телевизионных систем, позволяющее обрабатывать сигналы от неподвижных, малоподвижных и быстродвижущихся объектов, как в реальном, так и измененном времени [2];
- исключение субъективных погрешностей визуальных измерений, таких как параллакс и ошибки при измерении участков перехода света в тень вследствие логарифмической светочувствительности глаза человека;
- частичная либо полная автоматизация процесса измерения.

С учётом сказанного выше, задача модернизации автоколлиматора АК-0,5У решалась за счет сопряжения его оптической системы с телевизионной камерой (ТВ-камерой) и регистрации измерений телевизионными методами.

В качестве датчика изображения была использована промышленная ТВ-камера avA1900-50gc компании Basler [3] рис. 1. Основные её технические характеристики представлены в табл. 1.



Рис. 1. Внешний вид камеры Basler avA1900-50gc.

Важной особенностью ТВ-камеры является возможность считывания сигнала с фотоприемного устройства (ФПУ) как в однотактном, так и в четырехтактном режимах. В последнем случае ФПУ делится на квадранты и отдельная электронная схема

Таблица 1. Основные технические характеристики ТВ-камеры Basler avA1900-50gc

Фотоприемное устройство	
Тип приемника излучения	KAI-02150
Размер, мм	10,6 × 5,9
Количество пикселей	1920 × 1080
Разрешение, Мп	2
Размер пикселя, мкм	5,5 × 5,5
Частота кадров, к/с	51
Квантовая эффективность, %	39,9
Темновой шум, е ⁻	11,9
Емкость насыщения (типовое значение)	18,5
ke ⁻	
Динамический диапазон, дБ	63,8
Соотношение сигнал-шум, дБ	42,7
Характеристики ТВ-камеры	
Интерфейс	GigE
Глубина цвета	12 bits
Цифровой вход	2
Цифровой выход	4
Требования к питанию	12 VDC
Энергопотребление (стандартное)	5,5 W
Размер корпуса (Д × Ш × В), мм	40,7 × 62 × 62
Байонет объектива	C-mount
Вес (стандартный)	300g

используется для считывания пикселей в каждом квадранте. Поскольку четыре схемы используются одновременно, обеспечивается частота кадров до 51 к/с. Эта позволяет использовать данную ТВ-камеру для измерения угловых перемещений движущихся объектов.

В качестве оптической системы, формирующей изображение на ФПУ ТВ-камеры, был выбран объектив с переменным фокусным расстоянием LMZ69M компании Kowa. Основные характеристики объектива представлены в табл. 2.



Рис. 2. Объектив Kowa LMZ69M

Таблица 2. Основные характеристики объектива Kowa LMZ69M

Характеристика	Значение
Фокусное расстояние, мм	11,5-69
Относительное отверстие	1:1,4
Размер изображения, мм	Ø11
Рабочий диапазон длин волн, нм	380-780
Разрешающая способность лин/мм:	
- центр поля	100
- край поля	60
Габаритные размеры, мм	Ж48 × 102,7
Вес, г	300

Объектив оснащен механизмом ручной фокусировки, что позволяет добиться более точного сопряжения изображения измерительной шкалы автоколлиматора со светочувствительной плоскостью ФПУ. Переменное фокусное расстояние объектива позволяет изменять масштаб в диапазоне 6×. Наблюдение шкалы автоколлиматора в широком поле зрения (с малым масштабом) упрощает процедуру поиска автоколлимационного изображения тест-объекта. При этом для обеспечения точности измерений шкала наблюдается в малом угле поля зрения (с большим масштабом увеличения).

Для получения изображения измерительной шкалы АК-0,5У на светочувствительной плоскости ФПУ объектив совместно с ТВ-камерой были установлены непосредственно за окуляр-микрометром автоколлиматора так, чтобы обеспечивалась соосность визирных осей обеих оптических систем. Осевое расстояние между ними подбиралось так, чтобы максимально точно совместить выходной зрачок окуляра с входным зрачком объектива.

При такой компоновке измеряемый угловой размер, на который повернут объект относительно визирной оси автоколлиматора вычисляется по формуле:

$$\varphi = \operatorname{arctg} \frac{Nd}{2f' \Gamma_A}, \quad (2)$$

где N – количество пикселей, на которое сместились изображение тест-объекта от центра шкалы; d – размер пикселя, мм; f' – фокусное расстояние объектива ТВ-камеры, мм; Γ_A – видимое увеличение автоколлиматора, крат.

Выполнение измерений на модернизированном коллиматоре осуществляется при помощи персонального компьютера, к которому подключается ТВ-камера. Для этого было разработано специальное программное обеспечение, которое позволяет оператору производить захват видеосигнала с ТВ-камеры, измерять количество пикселей, на которое сместились изображение тест-объекта относительно центра шкалы, а также в автоматизированном режиме вычислять угловой размер j .

КОНСТРУКЦИЯ МОДЕРНИЗИРОВАННОГО АВТОКОЛЛИМАТОРА

С точки зрения конструирования модернизация автоколлиматора АК-0,5У заключалась в разработке узла его сопряжения с ТВ-камерой и объективом. Основные технические требования к данному узлу заключались в следующем:

- 1) обеспечение надежного, неподвижного закрепления ТВ-камеры на автоколлиматоре;
- 2) возможность юстировки визирной оси объектива относительно оси окуляра-микрометра;
- 3) монтаж и демонтаж без нарушения конструктивной и функциональной целостности автоколлиматора.

Его конструкция представлена на рис. 3.

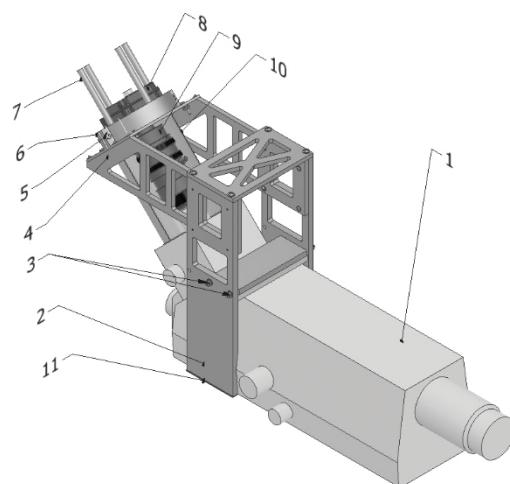


Рис. 3. Конструкция модернизированного автоколлиматора

На автоколлиматор 1, устанавливается рамная конструкция, основными элементами которой являются планки 2 и 4. Форма планок 2 повторяет обводы кожуха АК-0,5У, обеспечивая плотное прилегание узла сопряжения и ограничивая его перемещение. Неподвижность закрепления реализуется при помощи упорных планок 11 и крепежных элементов 3, которые позволяют притянуть планки 2 к кожуху. ТВ-камера 8 совместно с объективом 9 устанавливается в посадочное место 6, которое позволяет проводить юстировку визирных осей оптических систем за счет вращения относительно трех взаимно перпендикулярных осей. Вращение осуществляется при помощи рычагов 7. После выполнения юстировки ТВ-камера неподвижно закрепляется винтом 6. Для исключения попадания в объектив паразитного внешнего излучения в конструкции предусмотрен кожух 10.

Юстировочный механизм ТВ-камеры показан на рис. 4.

Он представляет собой сферический шарнир, обладающий тремя степенями свободы – возможностью вращения вокруг трёх осей, но с ограничением движения по двум из них. На внутренней части шарнира, имеющей сферическую боковую поверхность, непод-



Рис. 4. Юстировочный механизм ТВ-камеры

важно при помощи винтов фиксируется ТВ-камера с объективом. Вращение осуществляется в разрезном хомуте, который также имеет сферическую поверхность и закрепляется на раме узла сопряжения. Разрезной хомут имеет два винта, при помощи которых происходит фиксация положения шарнира после проведения юстировки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная модернизация автоколлиматора АК-0,5У позволила решить поставленную задачу, а именно повысить эффективность угловых измерений за счет увеличения их скорости при сохранении не-

обходимой точности. Решающую роль в этом сыграло применение методов и средств прикладного телевидения.

Модернизированный коллиматор был успешно применен для контроля и оптимизации алгоритмов работы гиростабилизированной платформы изделий МОЭВС.

Дальнейшее развитие может быть связано с добавлением функциональности программному обеспечению с целью повышения автономности измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Креопалова Г.В., Лазарева Н.Л., Пуряев Д.Т. Оптические измерения: Учебник для вузов по специальностям «Оптико-электронные приборы» и «технология оптического приборостроения». Под общ. ред. Д.Т. Пуряева. – М.: Машиностроение, 1987. – 264 с.
2. Коротаев В.В., Краснящих А.В. Телевизионные измерительные системы / Учебное пособие. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2008. – 108 стр.
3. Basler AG. [Электронный ресурс]: офиц. сайт. Германия. 2017. URL: <https://www.baslerweb.com/ru/> (дата обращения 13.07.2017).

*Алимов Андрей Евгеньевич,
к.т.н., главный специалист отдела ЗАО «МНИТИ»*

*Колотовкин Сергей Александрович,
начальник группы отдела ЗАО «МНИТИ»*

*Шавкунов Олег Владимирович,
ведущий инженер отдела ЗАО «МНИТИ»*



*Салата Д.В., инженер,
Толочков Д.В., к. т. н.*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ СТАБИЛИЗАЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ОБЗОРНО-ПИЛОТАЖНОЙ СИСТЕМЫ

В статье приведены экспериментальные исследования системы управления перспективной многоканальной оптико-электронной визирной системы (МОЭВС-П). В рамках испытаний МОЭВС-П проводилась оценка точности стабилизации целевой нагрузки в зависимости от характера внешних возмущений, оказываемых на изделие, а также в зависимости от настроек регуляторов системы управления. Проведена оценка влияния точности выдачи данных с датчиков угла и угловой скорости на точность стабилизации.

Ключевые слова: изображение, стабилизация, объект, управление.

ВВЕДЕНИЕ

Получение качественного изображения при использовании авиационных обзорно-пилотажных систем (ОПС) необходимо для решения ряда задач, включающих обзор наземного и воздушного пространства, обнаружение, селекцию, распознавание и автосопровождение объектов, дистанционное зондирование Земли и др. [1]. Одной из проблем получения качественного изображения с использованием оптико-электронных систем (ОЭС) находящихся на движущихся объектах (самолете, вертолете и др.) является проблема стабилизации формируемых изображений.

При установке высокоразрешающих телевизионных (ТВ) и тепловизионных (ТПВ) ОЭС на подвижный объект, необходимо компенсировать внешние возмущения (механические вибрации, удары), с целью получения изображения без «смазов», комфорного для визуального восприятия оператором. Для сохранения разрешающей возможности ТВ и ТПВ систем применяют гиростабилизированные платформы (ГСП). Точность стабилизации изображения зависит от типа системы управления ГСП.

Высокую эффективность на практике, показало применение векторного типа управления двигателями, входящими в состав ГСП [2]. Теоретические основы метода векторного управления двигателем подробно описаны в работах [3–5]. В разработанном изделии МОЭВС-П был реализован метод векторного управления синхронными двигателями с постоянными магнитами (СДПМ). Методика настройки регуляторов системы управления была ранее описана в работе [2].

В данной статье изложены результаты выполненных исследований, связанных с оценкой эффективности метода векторного управления. Оценка точности стабилизации целевой нагрузки проводилась для курсового контура МОЭВС-П. Целевой нагрузкой изделия является стабилизируемый блок ОЭС, включающий в себя: ТВ и ТПВ камеру и лазерный дальномер.

ОПИСАНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТА

На рис. 1 показана структурная схема стенда для проверки точности стабилизации целевой нагрузки. Она включает: изделие МОЭВС-П – 1, технологическую раму – 2, автоколлиматор – 3, неподвижный стол – 4, зеркало – 5 и привод – 6. Изделие МОЭВС-П 1 закрепляется на технологической раме 2. Рама вместе с изделием подвешивается к оси привода 6, который жестко закреплен на столе 4. К стабилизируемой целевой нагрузке прикреплялось зеркало 5, таким образом, чтобы плоскость зеркала была перпендикулярна оси визирования автоколлиматора 3.

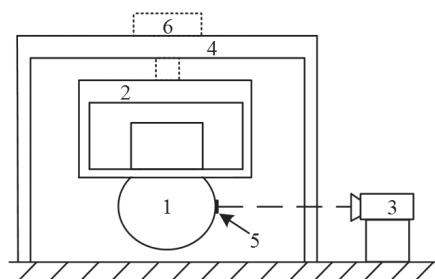


Рис. 1. Структурная схема стенда проверки точности стабилизации целевой нагрузки

Вращения, создаваемые приводом 6, являются внешними возмущениями по отношению к целевой нагрузке МОЭВС-П. В качестве возмущений формировались колебания различной формы в диапазоне частот $f = 0,1\text{--}7,0$ Гц с амплитудой колебания $A = 1\text{--}5$ град.

Оценка точности стабилизации целевой нагрузки основана на использовании автоколлиматора. На рис. 2 показана структурная схема автоколлиматора.

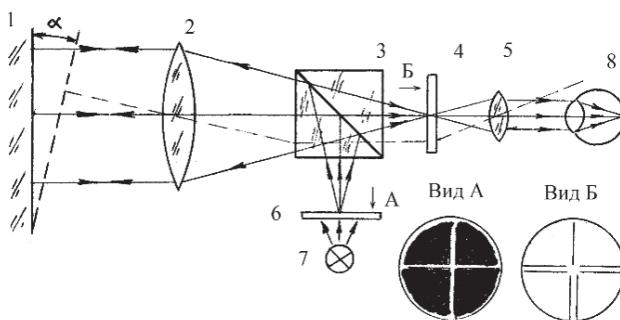


Рис. 2. Структурная схема автоколлиматора

Он состоит из зеркала 1, объектива 2, светоделильного куба 3, склеенного из двух прямоугольных призм, причём, в плоскости склейки одна из граней полупрозрачна. За кубом в фокальной плоскости окуляра установлена стеклянная пластинка с перекрестием 4 (вид Б), а далее окуляр-микрометр с минутной шкалой 5. Между осветительной лампой 7 и кубом 3 установлена, в строго фокальной плоскости объектива, вторая стеклянная пластинка 6, на которой на слое алюминия прочерчен прозрачный крест (вид А).

Параллельные лучи света, выходящие из объектива 2, отразившись от зеркала 1, вновь входят в объектив и изображение светящегося креста сетки 6 совпадает с перекрестием сетки 4. При отклонении отражающей плоскости изображение светящегося креста будет смещаться. Если зеркало перемещается параллельно своему первоначальному положению, смещение изображения креста не происходит. При повороте зеркала на угол α отраженные от него лучи поворачиваются на двойной угол 2α , и изображение креста в плоскости шкалы меняет свое положение на угол α .

Таким образом, критерием точности стабилизации целевой нагрузки являлась величина смещения креста при воздействии на платформу внешних возмущений. Величина смещения измерялась по минутной шкале окуляра-микрометра.

В курсовом контуре установлен синхронный двигатель с постоянными магнитами (СДПМ) 3 ДБМ-120-1-0,8-3 (табл. 1).

В качестве датчика угловой скорости (ДУС) применялся волоконный датчик вращения ВГ103Д-200Ш (табл. 2).

Для корректных измерений точности стабилизации программным путем компенсировался дрейф ДУС. Для этого к его показаниям прибавлялся поправочный коэффициент. Правильность выбора коэффициента проверялась в режиме стабилизации при отсутствии внешних возмущений. В этом случае изображение креста со временем не смещается от первоначального положения.

Таблица 1. Основные характеристики двигателя 3 ДБМ-120-1-0,8-3

Наименование и единица измерения параметра	Значение параметров
Число фаз	3
Электромагнитная постоянная времени фазы, мс	0,5
Пусковой момент, Н [*] м	6,5
Коэффициент противо-ЭДС, В [*] с/рад	0,19
Коэффициент момента, Н [*] м/А	0,19
Число пар полюсов	8

Таблица 2. Основные характеристики датчика угловой скорости ВГ103Д-200Ш

Наименование и единица измерения параметра	Значение параметров
Диапазон измеряемых скоростей, град/с	190
Угловой случайный дрейф, град/√ч	0,01
Стабильность скорости дрейфа, град/ч	1
Частота обновления данных, кГц	1,2

В качестве датчика угла (ДУ) применялся энкодер INC-6-150-221001-SPI1-RFC5-24CT-AN ZTX фирмы Zettlex UK Ltd. В табл. 3 указаны основные параметры энкодера.

Таблица 3. Основные характеристики энкодера INC-6-150-221001-SPI1-RFC5-24CT-AN ZTX

Наименование и единица измерения параметра	Значения параметров
Внешний диаметр, мм	150
Напряжение питания, В	24
Разрешающая способность, бит	22
Интерфейс	SPI
Частота обновления данных, кГц	10

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩЕНИЙ НА ТОЧНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ

При воздействии внешних возмущений различной формы и частоты была проведена оценка точности стабилизации целевой нагрузки. В табл. 4 приведены параметры возмущений, при которых оценивалась точность стабилизации. Измерения проводились при настроенном регуляторе тока с коэффициентами $P = 0,5$, $I = 0,2$ и регуляторе скорости с коэффициентами $P = 95$, $I = 0,014$, $D = 0,1$.

Таблица 4. Точность стабилизации целевой нагрузки МОЭВС-П при различных внешних возмущениях

Тип возмущения	Амплитуда А, град	Частота v , Гц	Точность стабилизации $\Delta\phi$, угл.сек.
Синусоидальные возмущения	5	0,08	± 20
		0,16	
		0,3	± 15
Меандр	2,5	3	± 15
		1,5	± 30
		1	± 45

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕГУЛЯТОРА СКОРОСТИ НА ТОЧНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ

В табл. 5 приведены значения точности стабилизации целевой нагрузки по курсу в зависимости от коэффициентов ПИД регулятора скорости. Внешнее возмущение – меандр амплитудой $A = \pm 3$ град, частотой $v = 1$ Гц.

Таблица 5. Таблица точности стабилизации целевой нагрузки по курсу при изменении коэффициентов ПИД-регулятора скорости

Пропорциональный коэффициент P	Интегральный коэффициент I	Дифференциальный коэффициент D	Точность стабилизации $\Delta\phi$
20	0,001	0,1	$\pm 7-8$ угл. мин.
	0,005		± 3 угл. мин.
	0,014		± 1 угл. мин.
	0,021		± 1 угл. мин.
50	0,001	0,1	$\pm 4-5$ угл. мин.
	0,005		± 1 угл. мин.
	0,014		± 30 угл. сек.
	0,021		± 2 угл. мин.
95	0,001	0,1	± 15 угл. сек.
	0,014		± 12 угл. сек.*
	0,021		**
	0,03		

* - наблюдается возбуждение системы

** - срыв стабилизации

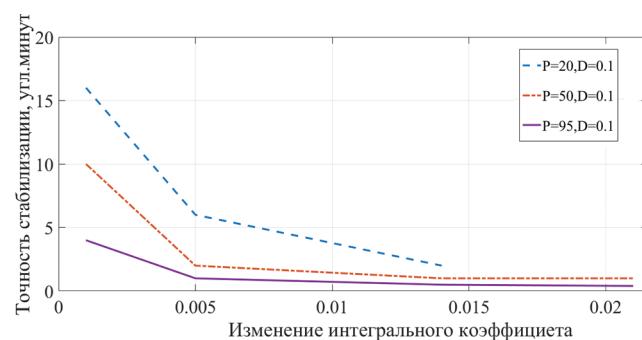


Рис. 3. Точность стабилизации целевой нагрузки в зависимости от коэффициентов регулятора скорости

Из рис. 3 видно, что для получения более высоких значений точности стабилизации целевой нагрузки необходимо увеличивать пропорциональную составляющую регулятора скорости. Устранение статической ошибки достигается интегральной составляющей регулятора.

ВЛИЯНИЕ ТОЧНОСТИ ДАТЧИКОВ УГЛА И УГОЛОВОЙ СКОРОСТИ НА ТОЧНОСТЬ СТАБИЛИЗАЦИИ

Проведены эксперименты по оценке влияния точностей показаний ДУС и ДУ на точность стабилизации целевой нагрузки при воздействии внешнего возмущения – меандр амплитудой $A = \pm 3$ град, частотой $v = 1$ Гц. Измерения проводились при настроенном регуляторе тока с коэффициентами $P = 0.5$, $I = 0.2$ и регуляторе скорости с коэффициентами $P = 95$, $I = 0.014$, $D = 0.1$.

Максимальная точность показаний ДУ достигается при разрешающей способности датчика угла – 22 бита, а максимальная точность показаний ДУС при разрешающей способности – 24 бита.

В табл. 6 указана точность стабилизации целевой нагрузки $\Delta\phi$ в угловых секундах в зависимости от точности показаний датчика угла при максимальной разрешающей способности датчика угловой скорости – 22 бита.

В табл. 7 указана точность стабилизации целевой нагрузки $\Delta\phi$ в угловых секундах в зависимости от точности показаний датчика угловой скорости при максимальной разрешающей способности датчика угла – 22 бита.

Таблица 6. Точность стабилизации целевой нагрузки $\Delta\phi$ (угл. сек.) в зависимости от точности показаний датчика угла при воздействии внешнего возмущения

Разрешение датчика угла, бит	Точность стабилизации целевой нагрузки, угл. сек.
22	± 15
18	± 15
14	± 15
10	неустойчивая стабилизация - самовозбуждение
6	

Таблица 7. Точность стабилизации целевой нагрузки $\Delta\phi$ (угл. сек.) в зависимости от точности показаний датчика угловой скорости при воздействии внешнего возмущения

Разрешение датчика угловой скорости, бит	Точность стабилизации целевой нагрузки, угл. сек.
24	± 15
20	± 15
16	± 15
12	Срыв стабилизации

На рис. 4 показаны фотографии окуляра-микрометра, сделанные при максимальном отклонении вертикальной линии креста при воздействии внешнего возмущения. По крайним положениям линии относительно минутной шкалы определялась точность стабилизации. Фотографии сделаны при максимальном разрешении датчика угла – 22 бита и максимальном разрешении датчика угловой скорости – 24 бита. На левом изображении линия находится на отметке $\phi_{\text{л}} = 10'30''$, на правом $\phi_{\text{л}} = 10'0''$. Точность стабилизации составляет $\Delta\phi = \pm 15$ угл. сек.

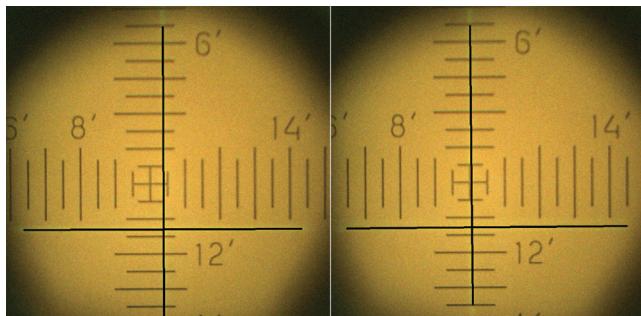


Рис. 4. Фотографии окуляра-микрометра, сделанные при максимальном отклонении вертикальной линии креста при воздействии внешнего возмущения

Уменьшение разрешающей способности датчика угла на 8 бит при максимальном разрешении датчика угловой скорости не влияет на точность стабилизации целевой нагрузки. Уменьшение разрешающей способности датчика угловой скорости на 4 бита при максимальном разрешении датчика угла не влияет на точность стабилизации целевой нагрузки.

Частота обновления данных в системе управления составляет 10 кГц. Таким образом, при частотах выдачи данных с датчиков меньшей, чем частота обновления данных системы, повышение точности выдачи данных не приводит к улучшению точности стабилизации целевой нагрузки. Исходя из теоремы Котельникова делаем вывод, что частота обновления данных с датчиков должна быть не менее 20 кГц. Таким образом при создании систем с повышенной точностью стабилизации возможно применение ДУС и ДУ с меньшей точностью выдачи данных, но с большей полосой пропускания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполненных экспериментальных исследований проведена оценка точности стабилизации целевой нагрузки МОЭВС-П по курсовому контуру при различных параметрах системы управления и в зависимости от характера внешних возмущений.

Для повышения точностей стабилизации целевой нагрузки, включающей ТВ и ТПВ камеры, лазерный дальномер необходимо возможно применение дат-

чика угла и угловой скорости с меньшей точностью выдачи данных, но с большей полосой пропускания. С применением ДУС и ДУ при настроенной системе управления и внешнем возмущении меандр амплитудой $A = \pm 3$ град, частотой $v = 1$ Гц достигнута точность стабилизации $\Delta\phi = \pm 15$ угл. сек. Точность стабилизации целевой нагрузки в зависимости от возмущений различной формы в диапазоне частот $f = 0,1\text{--}7,0$ Гц с амплитудой колебания равной $A = 1\text{--}5$ градусов составляет от $\Delta\phi = 30$ угл. сек. до $\Delta\phi = 90$ угл. сек.

Проведена оценка влияния коэффициентов регулятора скорости на точность стабилизации целевой нагрузки. При настроенном регуляторе скорости и внешнем возмущении меандр с амплитудой $A = \pm 3$ градусов и частотой $v = 1$ Гц точность стабилизации целевой нагрузки составляет $\Delta\phi = \pm 15$ угл. сек.

Значения точностей стабилизации целевой нагрузки были получены при отсутствии сальника в месте стыка подвижной оси двигателя с неподвижным основанием ГСП. Первоначально сальник устанавливался с целью защиты основания от попадания пыли и влаги. Однако при установленном сальнике точность стабилизации целевой нагрузки составляла единицы минут.

Таким образом для получения высоких точностей стабилизации и выполнения требований по пыле- и влагозащищенности изделия необходимо использовать сальники, сделанные из материалов с низким трением и применять смазки для уменьшения трения. При соблюдении вышеперечисленных условий применение векторного управления СДПМ в ГСП оправдано для стабилизации ТВ и ТПВ изображения.

ЛИТЕРАТУРА

- Сагдуллаев Ю.С., Ковин С.Д., Сагдуллаев Т.Ю., Смирнов А.И. Информационно-измерительные системы телевидения. – М.: Издательство «Спутник+», 2013. – 199 с.: ил
- Толочкин Д.В, Салата Д.В. Применение метода векторного управления двигателем для стабилизации изображений в обзорно-пилотажных системах. Вопросы радиоэлектроники. Серия: Техника телевидения, выпуск 2, с. 48–53
- Калачев Ю.Н. Векторное регулирование (заметки практика), ЭФО, 2013. – 72 с.
- Анучин А.С. Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373. с.: ил
- [5. \[https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/367653/\]\(https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/367653/\)](https://habr.com/ru/company/npf_vektor/blog/367653/)

Салата Денис Владимирович,
инженер отдела ЗАО «МНИТИ»

Толочкин Дмитрий Викторович,
к. т. н., зам. начальника отделения ЗАО «МНИТИ»



**Ковин С.Д., к. т. н.,
Сагдулаев Ю.С., д. т. н., проф.,
Селявский Т.В.**

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ В ДВУХКАНАЛЬНЫХ ПЕРЕДАЮЩИХ КАМЕРАХ

Рассмотрены особенности и способы формирования сигналов разноспектральных изображений в двухканальных передающих камерах с использованием интегрального и интегрально-дифференциального метода регистрации лучистого потока с одинаковой и переменной шириной зоны регистрации лучистого потока.

Ключевые слова: спектрозональное телевидение, регистрация лучистого потока, формирование сигналов разноспектральных изображений

ВВЕДЕНИЕ

Для наблюдения объектов окружающего пространства и земной поверхности с летательных аппаратов (ЛА), в том числе и с космических аппаратов, используют различные типы оптико-электронных, телевизионных (ТВ) и тепловизионных (ТПВ) систем. Они осуществляют регистрацию лучистого (светового) потока внутри широкого спектрального участка с длиной волны от λ_1 до λ_n . Для формирования цветных ТВ-изображений используется регистрация светового потока в RGB участках видимой области спектра.

Спектрозональные ТВ-изображения могут быть сформированы путем регистрации лучистого потока в нескольких участках (зонах) ультрафиолетовой (УФ), видимой (ВИ) и инфракрасной (ИК) областей спектра. Можно полагать, что физическая предпосылка спектральной селекции объектов с использованием систем спектрозонального телевидения состоит в формировании разноспектральных изображений для восприятия и различения пространственных признаков (ПП) объектов на основе распределения их спектрально-энергетических признаков (СЭП) по величине лучистой энергии в одной или нескольких зонах оптического спектра [1].

Как известно, с учетом «окон прозрачности» атмосферы, разноспектральные ТВ-изображения могут быть сформированы путем регистрации и преобразовании лучистого (светового) потока в УФ-области спектра 0,22–0,38 мкм, ВИ-области спектра 0,38–0,76 мкм, ближней ИК1-области спектра 0,76–2,5 мкм, средней ИК2-области спектра 3,0–5,0 мкм и дальней ИК3-области спектра 8,0–14,0 мкм.

Спектральная селекция объектов базируется на возможности одновременной регистрации отраженного или излученного лучистого потока в двух и более спектральных участках (зонах). При этом, в зависимости от решаемой задачи, число зон регистрации лучистого (светового) потока может быть равным величине $m = 2, 3, 4, \dots, P$. Для реализации спектрозонального «эффекта» минимальное число зон (участков) должно быть равно двум. Будем считать, что лучистый поток, который отражают или излучают объекты, достаточен для регистрации его с помощью ТВ- или ТПВ-камер, формирующих изображения в ТВ-формате.

Поскольку основу систем спектрозонального телевидения составляют передающие камеры, рассмотрим принцип построения двухканальных ТВ-камер для характерных ситуаций с минимальным числом зон (участков) регистрации лучистого (светового) потока. При этом выделим разновидности передающих ТВ-камер, в которых используемые зоны регистрации лучистого потока выбраны внутри одного спектрального участка УФ-, ВИ- и ИК-областей спектра или, когда в камере осуществляют регистрацию лучистого потока в двух разнесенных между собой спектральных участках, например, в ВИ- и ИК-областях спектра [1, 2].

За счет использования регистрации лучистого потока в различных областях спектра может быть получено разное количество информации об объектах. В этой связи, по количеству получаемой информации в дневное время суток, выделим приоритет для ТВ-изображений ВИ-области спектра, поскольку зрительное восприятие объектов связано именно с этой областью спектра, а для ночного времени суток – приоритет для ТПВ-изображений ИК-области спектра.

В системах видеонаблюдения, дистанционного зондирования и спектральной селекции объектов в первую очередь важное место отводится техническому облику источников сигналов, то есть спектрозональным передающим камерам. В этой связи рассмотрим способы и особенности формирования сигналов разноспектральных ТВ-изображений в передающих камерах спектрозонального телевидения,

которые используют регистрацию лучистого (светового) потока в разных спектральных участках (зонах).

СПОСОБЫ ФОРМИРОВАНИЯ СИГНАЛОВ РАЗНОСПЕКТРАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХКАНАЛЬНЫХ ОПТИЧЕСКИХ СХЕМ

На рисунке 1 представлен вариант структурной схемы спектрозональной камеры [2], выполненной по двухканальной оптической схеме с использованием односигнальных матричных фотоприемников (МФП).

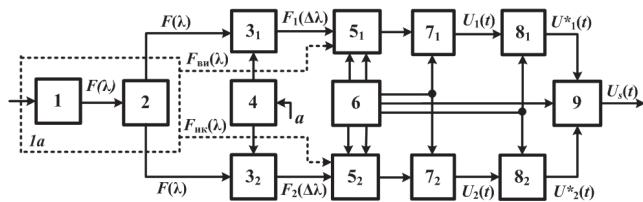


Рис. 1. Структурная схема спектрозональной камеры по двухканальной оптической схеме с использованием односигнальных МФП

Входное звено спектрозональной камеры, содержит: объектив 1, устройство расщепления входного потока на два идентичных потока 2, два оптических фильтра 3, блок управления оптическими фильтрами 4, два односигнальных МФП 5, синхрогенератор 6, два усилителя-формирователя 7, два АЦП видеосигнала 8, мультиплексор сигналов 9.

При другом варианте структурной схемы спектрозональной камеры по двухканальной оптической схеме с использованием односигнальных МФП в качестве блоков 1 и 2 (рис.1) может быть использован зеркально-линзовый объектив 1а, который обеспечивает пропускание лучистого потока нескольких спектральных участков, например, ВИ- и ИК-областей спектра.

Фактически при втором варианте построения спектрозональная камера будет отображать собой в единой конструкции ТВ/ТПВ-камеру. Она будет обеспечивать наблюдение объектов подстилающей поверхности Земли в дневное и ночное время суток. За счет использования зеркально-линзового объектива может быть достигнуто совмещение оптической оси для ТВ- и ТПВ-каналов формирования разноспектральных изображений, что является важным для формирования на их основе синтезированного изображения.

В схеме (рис.1) синхрогенератор 6 формирует необходимые строчные, кадровые и тактовые импульсы, которые используются для развертки и считывания изображений в МФП 51 и 52, для формирования на выходе усилителей-формирователей 71 и 72 сигналов изображений $U_1(t)$ и $U_2(t)$, а также для работы блоков АЦП 8 и мультиплексора 9. В качестве МФП

51 и 52 могут быть использованы ПЗС-матрицы, КМОП-фотоприемники или другие преобразователи лучистого потока в электрические сигналы изображений. Оптические фильтры (ОФ) 31 и 32 для первого и второго каналов формирования видеосигналов $U_1(\lambda)$ и $U_2(\lambda)$ в спектрозональной камере могут иметь свои спектральные характеристики. Для этого с помощью блока управления ОФ 4 изменяются спектральные характеристики ОФ 31 и 32 (механическим – за счет замены фильтров или электронным путем). Поскольку используется двухканальная оптическая схема, здесь общий входной лучистый поток $F(\lambda)$ разбивается на два идентичных потока, каждый из которых проходит через свой ОФ.

Пройдя первый и второй ОФ лучистый поток $F_1(\Delta\lambda)$ и $F_2(\Delta\lambda)$ проецируется на рабочую поверхность первого и второго МФП 51 и 52. Сформированные сигналы изображения с выхода каждого МФП поступают на свой вход усилителя–формирователя 71 и 72, где происходят операции усиления, раздельной обработки сигналов и их смешивания со строчными и кадровыми импульсами.

С выхода 71 и 72 аналоговые видеосигналы поступают на входы АЦП 8 для формирования цифровых видеосигналов $U_1^*(t)$ и $U_2^*(t)$. На вторые входы первого и второго АЦП подается сигнал дискретизации с определенной тактовой частотой fd , исходя из верхней граничной частоты видеосигнала $f_{\text{верх}}$ в соответствии с известной зависимостью $fd \geq 2 \cdot f_{\text{верх}}$. С выходов АЦП цифровые видеосигналы поступают на входы мультиплексора 9, на выходе которого формируется цифровой видеосигнал $U_s(t)$. Этот сигнал может передаваться по каналу связи.

На приемной стороне происходит демультиплексирование видеосигнала $U_s(t)$ и осуществляется формирование исходных видеосигналов $U_1(t)$ и $U_2(t)$. Далее на их основе формируется дополнительный сигнал изображения

$$U_{\text{доп}}(t) = F[U_1(t), U_2(t)]. \quad (1)$$

В табл. 1 показаны два способа формирования сигналов разноспектральных изображений $U_1(t)$ и $U_2(t)$ в спектрозональной ТВ-камере, когда фактически используется один спектральный участок. Для первого способа формирования сигналов разноспектральных ТВ-изображений используются две отдельные зоны регистрации лучистого потока ($\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2$) и ($\Delta\lambda_2$) внутри отдельных спектральных участков УФ-, ВИ- или ИК-областей спектра [3].

Для второго способа, преобразование лучистых потоков в двух каналах спектрозональной ТВ-камеры осуществляется в одинаковом «широком» спектральном участке с длиной волны от λ_1 до λ_n , которые могут также включать отдельные спектральные участки УФ-, ВИ- или ИК-областей спектра [4].

Таблица 1. Варианты формирования сигналов разноспектральных изображений в спектрональной ТВ камере при использовании одного спектрального участка

П/п	Параметры	Оптические фильтры во входном звене камеры			
		ОФ ₁	ОФ ₂	ОФ ₁	ОФ ₂
1.	Спектральные зоны регистрации лучистого потока	$(\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2)$	$\Delta\lambda_2$	$(\lambda_n - \lambda_1)$	
2.	Форма СХ ОФ	Одноковая		$\Phi_1(\lambda) = 1 - \Phi_2(\lambda)$	
3.	Формируемые сигналы изображений	$U_1(t)$	$U_2(t)$	$U_{n1}(t)$	$U_{n2}(t)$
4.	Дополнительный сигнал изображения	$U_{\text{доп}}(t) = U_1(t) - U_2(t)$		$U_{\text{доп}}(t) = U_{n1}(t)/U_{n2}(t)$	
5.	Общее число формируемых сигналов	3			
6.	Отображаемые изображения	Монохромные, в условных цветах			

Первый способ (табл. 1) характеризует использование интегрально-дифференциального метода регистрации лучистого потока с переменной шириной зоны регистрации лучистого потока, то есть имеется зависимость в ширине зон регистрации в виде $(\Delta\lambda_1 + \Delta\lambda_2) > (\Delta\lambda_2)$ для первого и второго каналов входного звена спектрональной ТВ-камеры. При выполнении этого, формирование дополнительного сигнала изображения $U_{\text{доп}}(t)$, достигается за счет выполнения операции вычитания формируемых сигналов между собой [3]. Второй способ характеризуется использованием интегрального метода регистрации лучистого потока с «широкой» зоной регистрации лучистого потока, равной величине $(\lambda_n - \lambda_1)$.

Особенностью регистрации лучистого потока в спектрональной камере для второго способа является то, что спектральная характеристика (СХ) входного оптического звена первого $a_1(\lambda)$ и второго каналов $a_2(\lambda)$ формирования интегральных сигналов разноспектральных изображений $U_{n1}(t)$ и $U_{n2}(t)$, в спектральном участке с длиной волн от λ_1 до λ_n удовлетворяет условию $a_2(\lambda) = 1 - a_1(\lambda)$ [3].

Это достигается за счет того, что после расщепления входного лучистого потока на два одинаковых потока $F(\lambda)$, на выходе объектива, имеющего СХ $\tau_o(\lambda)$, их пропускания через первый и второй «широкополосные» оптические фильтры ОФ1 и ОФ2, имеющие СХ $\tau_{\phi1}(\lambda)$ и $\tau_{\phi2}(\lambda)$, проецировании лучистого (светового) потока на рабочую поверхность первого и второго матричных фотоприемников МФП1 и МФП2 со СХ $\varepsilon_1(\lambda)$ и $\varepsilon_2(\lambda)$, для результирующей СХ,

первого и второго канала спектрональной камеры, равной величине

$a_1(\lambda) = \tau_o(\lambda) \cdot \tau_{\phi1}(\lambda) \cdot \varepsilon_1(\lambda)$ и $a_2(\lambda) = \tau_o(\lambda) \cdot \tau_{\phi2}(\lambda) \cdot \varepsilon_2(\lambda)$ при формировании первого и второго сигналов изображений $U_{n1}(t)$ и $U_{n2}(t)$ выполняется условие, при котором $a_2(\lambda) = 1 - a_1(\lambda)$ [4].

Если принять, что выполняется условие, при котором $\tau_o(\lambda) \cdot \varepsilon_1(\lambda) = 1$ и $\tau_o(\lambda) \cdot \varepsilon_2(\lambda)$, то СХ входного звена будет фактически определяться СХ ОФ1 и ОФ2 в выбранном спектральном участке. После преобразования лучистых (световых) потоков и формирования двух интегральных сигналов изображений $U_{n1}(t)$ и $U_{n2}(t)$ в спектральном участке от λ_1 до λ_n , в дальнейшем осуществляется их обработка для нахождения дополнительного сигнала разноспектральных изображений путем деления исходных сигналов или использования других операций [5].

При применении во входном звене спектрональной камеры зеркально-линзового объектива (рис.1), можно обеспечить пропускание лучистого потока разных спектральных участков. В табл. 2 показаны возможные варианты формирования сигналов разноспектральных ТВ-изображений, когда фактически используется два «широких» спектральных участка. При этом могут быть различные их варианты, например, ВИ- и ближняя ИК-области спектра, ВИ- и средняя ИК-области спектра и т.д.

Здесь используется интегральный метод регистрации лучистого потока, который характеризуется возможностью достижения максимального отношения сигнал/шум в сигналах разноспектральных ТВ-изображений. За счет использования спектрального участка тепловой ИК-области спектра можно обеспечить возможность круглосуточного наблюдения объектов подстилающей поверхности Земли. В данном способе формирования разноспектральных изображений на основе двух сигналов i и j -спектральных участков может сформирован дополнительный (синтезированный) третий сигнал изображения.

Наиболее важным вопросом при синтезе нескольких разноспектральных изображений является формирование объединенного (результирующего) изображения [6]. Полезная информация, необходимая для принятия решения наблюдателем (оператором), может быть распределена между изображениями различных спектральных участков. В этом случае оператор вынужден анализировать несколько ТВ-изображений и сопоставлять их между собой, что может приводить к задержкам в принятии решения.

По этой причине целесообразно выводить на экран отображающего устройства объединенное изображение, синтезированное из двух исходных разноспектральных изображений. Помимо снижения объема данных, цель синтеза в создании новых изображений, которые более удобны с точки зрения вос-

приятия/анализа человеком/автоматом, а также для дальнейших задач обработки изображений, таких как сегментация и селекция объектов, их захват и т. д. [6].

Таблица 2. Варианты формирования сигналов разноспектральных изображений в спектрозональной ТВ камере при использовании двух спектральных участков

П/п	Параметры	Спектральные участки регистрации лучистого потока, мкм			
		ВИ 0,38– 0,76	ИК ₁ 0,76– 2,5	ИК ₂ 3,0– 5,0	ИК ₃ 8,0– 14,0
1.	Используемые спектральные участки	+	+	–	–
2.		+	–	+	–
3.		+	–	–	+
4.		–	+	+	–
5.		–	+	–	+
6.	Форма СХ ОФ	Прямоугольная, произвольная			
7.	Формируемые сигналы изображений	$U_1(t)$	$U_2(t)$	$U_3(t)$	$U_4(t)$
8.	Дополнительный сигнал изображения	$U_{\text{доп}}(t) = F[U_i(t), U_j(t)]$			
9.	Общее число формируемых сигналов	3			
10.	Отображаемые изображения	Монохромные, в условных цветах			

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование рассмотренных способов и схем построения двухканальных спектрозональных ТВ-камер обеспечит повышение видеонформационного обеспечения и эффективности наблюдения объектов в дневное и ночное время суток при решении широкого круга задач анализа объектов при дистанционном зондировании объектов земной поверхности с ЛА. Выбор «узких» зон регистрации лучистого (светового) потока позволяет повысить контрастность различных сочетаний объект/фон, а использование «широких» участков (зон) регистрации лучистого потока обеспечивает повышение отношения сигнал/шум, при уменьшении освещенности или излучательной способности объектов наблюдения.

Дальнейшие операции над сигналами разноспектральных изображений связаны с их отображением и анализом. Для этого сформированные три сигнала разноспектральных изображений, с помощью спектрозональной ТВ-камеры, можно подавать на входы *RGB* цветного видеоконтрольного устройства в различных сочетаниях и полярности для визуального анализа видеонформации. Кроме того, можно осу-

ществлять автоматическую селекцию заданных объектов подстилающей поверхности Земли, на основе анализа распределения амплитудных значений сигналов разноспектральных ТВ-изображений, полученных в двух спектральных участках (зонах) регистрации лучистого потока.

Исходя из анализа амплитудных значений сигналов разноспектральных изображений и их совместного распределения в двух спектральных участках (зонах), количество потенциально различаемых объектов может составить величину, равную произведению числа уровней (градаций яркости) сигналов в каждом из каналов спектрозональной ТВ-камеры.

ЛИТЕРАТУРА

- Сагдуллаев Ю.С., Ковин С. Д. Восприятие и анализ разноспектральных изображений. – М.: «Спутник +», 2016. – 251 с.
- Сагдуллаев Ю.С., Ковин С.Д., Белоконев В.М., Селявский Т.В. Двухканальные системы спектральной селекции оптических изображений. Материалы научно-технической конференции «Системы наблюдения, мониторинга и дистанционного зондирования Земли». – М.: МНТОРЭС им. А.С. Попова, филиал ФГУП «ГНП РКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» – «НПП «ОПТЭКС», 2019 г., С. 266–270.
- Патент РФ №2604898. Способ формирования спектрозональных видеосигналов / Ковин С.Д., Сагдуллаев Ю.С. – Опубл. 20.12.2016 г. Бюл. № 35.
- Патент РФ на изобретение № 2374783. Способ формирования и отображения спектрозональных телевизионных сигналов / Вилкова Н. Н., Зубарев Ю. Б., Сагдуллаев Ю. С. – опубл. 27.11.2009 г. Бюл. №33.
- Патент РФ на изобретение №2674411. Способ регистрации и формирования сигналов разноспектральных изображений / Ковин С.Д., Сагдуллаев Ю.С., Шавкунов О.В., Попов А.В. – опубл. 07.12.2018 г. Бюл. №3.
- Сагдуллаев Ю.С., Ковин С.Д. Способы объединения разноспектральных изображений. Журнал Техника средств связи. Серия техника телевидения. Научно-технический сборник. – М.: 2016, С. 29–41.

Ковин Сергей Дмитриевич,
к.т.н., зам. генерального директора ЗАО «МНИТИ»,
начальник отделения ЗАО «МНИТИ»

Сагдуллаев Юрий Сагдуллаевич,
к.т.н., проф., главный научный сотрудник
ЗАО «МНИТИ»

Селявский Терентий Валерьевич,
зам. начальника отдела ЗАО «МНИТИ»



**Ковин С.Д., к. т. н.,
Сухачев А.Б., д. т. н.,
Шапиро Б.Л.,
Селявский Т.В**

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В БОРТОВЫХ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА

В работе рассмотрены вопросы оценки эффективности использования нескольких информационных каналов в оптико-электронных системах мониторинга.

Ключевые слова: оптико-электронная система, лучистый поток.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для мониторинга подстилающей поверхности в бортовых оптико-электронных системах (ОЭС) широко используются информационные каналы видимого диапазона спектра. Это обеспечивает решение функциональных задач мониторинга в светлое время суток, когда минимальная освещенность на фотоприемнике, формируемая естественными источниками, обеспечивает заданное качество изображения. Использование во входном звене ОЭС нескольких каналов регистрации лучистого потока позволит повысить качество формируемых изображений целевых объектов и обеспечить выделение объектов, обладающих определенными спектрально-энергетическими и пространственными признаками в условиях ухудшения фона-целевой обстановки и возможной маскировки объектов. Для бортовых ОЭС в силу ограничений по массо-габаритным характеристикам наибольшее распространение получили двухканальные ОЭС, работающие в различных спектральных диапазонах.

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТА ИНТЕРЕСА ДВУХСПЕКТРАЛЬНОЙ ОЭС

Проведем оценку вероятности обнаружения объекта интереса для двухспектральной ОЭС [1,2].

Предположим, что в каждом i -м канале многоспектральной системы или в i -й – зоне регистрации при одноканальном построении системы будет своя вероятность различения (выделения) объектов в виде $p_1, \dots, p_i, \dots, p_m$. Тогда вероятность не различения объектов для i -го канала (i -й зоны регистрации) составит

$$P'_{Hi} = (1 - p_i). \quad (1)$$

При использовании m – канальной системы (m зон регистрации при одноканальном построении системы) вероятность не различения объектов, при условии независимости каждого из m событий, составит величину

$$P'_H = (1 - p_1) \cdot (1 - p_2), \dots, (1 - p_i), \dots, (1 - p_m) = \prod_{i=1}^m (1 - p_i). \quad (2)$$

Выражение (2) показывает, что с увеличением числа используемых каналов (или зон регистрации) вероятность не различения объектов уменьшается.

Вероятность различения (выделения) объектов с использованием m -канальной системы (или m -зон регистрации при одноканальном построении системы) при различных вероятностях различения в i -й системе или в i -й зоне регистрации составит величину

$$P_B = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - p_i). \quad (3)$$

Проведем оценку вероятности обнаружения объектов для двухспектральной теле-тепловизионной ОЭС.

Для оптико-электронных систем в соответствии с критерием Джонсона вероятность обнаружения объекта размером 4×4 пиксела составляет $p_i = 0,5$. Для оценки вероятности обнаружения объекта интереса двухспектральной ГСН примем вероятность обнаружения объекта интереса для ТВ и ТПВ каналов одинаковой $p_{TV} = p_{TPV} = 0,5$.

Оценка вероятности обнаружения объекта осуществлялась по выражению (3). Результаты оценки приведены на рис. 1. Из рис. 1 видно, что двухспектральная теле-тепловизионная ОЭС обеспечивает круглосуточность применения. В ночных условиях работоспособен только ТПВ-канал. При этом вероятность обнаружения объекта интереса может быть оценена по критерию Джонсона. Вероятность обнаружения объекта интереса днем в простых и ограниченно-сложных метеоусловиях для двухспектральной ОЭС возрастает в 1,5 раза по сравнению с одноканальной системой.

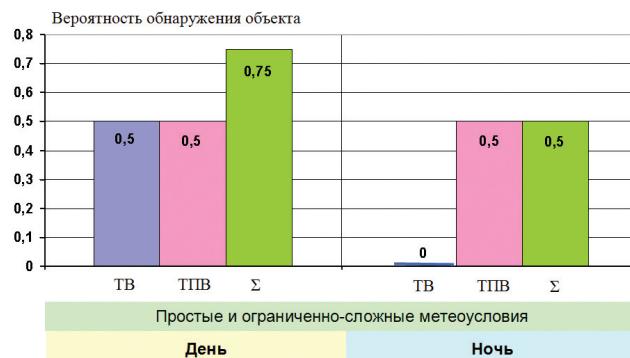


Рис. 1. Оценка вероятности обнаружения объекта интереса двухспектральной ОЭС

Ограничения для применения двухспектральной ОЭС – работа в простых и ограниченно-сложных метеоусловиях. При работе в сложных метеоусловиях дальность обнаружения снижается не менее чем в два раза по сравнению с оценкой, полученной по критерию Джонсона за счет дополнительных потерь, вносимых средой распространения излучения.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НЕСКОЛЬКИХ ИНФОРМАЦИОННЫХ КАНАЛОВ В БОРТОВЫХ ОЭС

Для оценки рационального количества информационных каналов и спектральных диапазонов их работы в течение 2017–2018 гг. в ЗАО «МНИТИ» были проведены лабораторно-стендовые испытания ОЭС, построенных на многоспектральной основе. В работе [1] предложена оценка эффективности вариантов исполнения бортовой аппаратуры по критерию эффективность-стоимость

$$W = \prod_{i=1}^n (A_i/B_i) / (C_B/C_A), \quad (4)$$

где A_i/B_i – относительная оценка основных параметров сравниваемых изделий; C_B/C_A – относительная оценка стоимости образцов сравниваемых изделий.

Для оценки эффективности использования нескольких информационных каналов в бортовых ОЭС, используем модифицированный показатель оценки эффективность-стоимость (4)

$$W = \frac{K_{\text{KC}} \cdot K_{\text{МУ}} \cdot K_{\text{ДЖ}}}{S}, \quad (5)$$

где K_{KC} – коэффициент круглосуточности ОЭС; $K_{\text{МУ}}$ – коэффициент всепогодности ОЭС; $K_{\text{ДЖ}}$ – коэффициент обнаружительной способности ОЭС; S – нормированная стоимость ОЭС.

Критерий оптимальности оценки эффективности при этом представляет собой максимум функционала оценки эффективность-стоимость различных вариантов

$$W^* = \arg \max_{i \in [1, n]} W_i. \quad (6)$$

В ходе проведенных лабораторно-стендовых испытаний была проведена статистическая оценка значений коэффициента круглосуточности K_{KC} и коэффициента всепогодности $K_{\text{МУ}}$. Результаты оценки приведены в табл. 1.

Таблица 1. Статистическая оценка коэффициентов K_{KC} и $K_{\text{МУ}}$

Спектральный участок диапазона длин волн	Длина волны, мкм	$K_{\text{МУ}}$	K_{KC}
Видимый «синий»	0,38–0,50	0,10	0,40
Видимый «зеленый»	0,50–0,65	0,37	0,50
Видимый «красный»	0,65–0,85	0,60	0,50
Инфракрасный 2	3,0–5,0	0,80	0,85
Инфракрасный 1	8,0–12,0	0,80	1,00

Поскольку значения K_{KC} и $K_{\text{МУ}}$ получены в результате статистической обработки результатов натурных экспериментов, их можно рассматривать как вероятности выполнения целевой функции ОЭС рассматриваемого спектрального диапазона длин волн. В связи с изложенным, для получения оценки вероятности выполнения целевой функции при работе нескольких спектральных каналов, при условии независимости событий, допустимо использовать подходы, использованные при выводе выражения (3), и в результате получить выражения для оценки K_{KC} и $K_{\text{МУ}}$ при работе многоспектральной ОЭС.

$$K_{\text{KC}_m} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - K_{\text{KC}_i}), \quad (7)$$

где K_{KC_m} – оценка результирующего коэффициента круглосуточности для многоспектральной ОЭС, использующей m спектральных каналов; K_{KC_i} – оценка коэффициента круглосуточности для i -го канала многоспектральной ОЭС (табл. 1).

$$K_{\text{МУ}_m} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - K_{\text{МУ}_i}), \quad (8)$$

где $K_{\text{МУ}_m}$ – оценка результирующего коэффициента всепогодности для многоспектральной ОЭС, использующей m спектральных каналов; $K_{\text{МУ}_i}$ – оценка коэффициента всепогодности для i -го канала многоспектральной ОЭС (таблица 1).

Коэффициент обнаружительной способности ГС $K_{\text{ДЖ}}$ – вероятность обнаружения объекта заданного размера в соответствии с критерием Джонсона.

$$K_{\text{ДЖ}_m} = 1 - \prod_{i=1}^m (1 - K_{\text{ДЖ}_i}), \quad (9)$$

где $K_{\text{ДЖ}_m}$ – оценка результирующего коэффициента обнаружительной способности для многоспектральной ОЭС, использующей m спектральных каналов; $K_{\text{ДЖ}_i}$ – оценка коэффициента обнаружительной способности для i -го канала многоспектральной ОЭС. Для оценки результирующего коэффициента обнаружительной способности многоспектральной ОЭС

примем для объекта размером 4×4 пикселя в соответствии с критерием Джонсона $K_{\text{дж}} = p_i = 0,5$.

В качестве объекта-аналога рассмотрим бортовую ОЭС мониторинга, оснащенную телевизионным каналом, работающим в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 0,65...0,85$ мкм (видимый «красный») (таблица 1), который позволяет минимизировать влияние атмосферной дымки (далее «Вариант 1»).

Рассмотрим также варианты оснащения бортовой ОЭС инфракрасными каналами:

- среднего ИК-диапазона (MWIR), работающего в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 3,0...5,0$ мкм («инфракрасный 2») (таблица 1), (далее «Вариант 2»);
- дальнего ИК-диапазона (LWIR), работающего в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 8,0...12,0$ мкм («инфракрасный 1») (таблица 1), (далее «Вариант 3»).

А также варианты оснащения бортовой системы мониторинга двухспектральными ОЭС в составе:

- канал среднего ИК-диапазона (MWIR), работающий в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 3,0...5,0$ мкм («инфракрасный 2») (таблица 1) + телевизионный канал, работающий в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 0,65...0,85$ мкм (видимый «красный») (таблица 1), (далее «Вариант 4»);
- канал дальнего ИК-диапазона (LWIR), работающий в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 8,0...12,0$ мкм («инфракрасный 1») (таблица 2) + телевизионный канал, работающий в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 0,65...0,85$ мкм (видимый «красный») (таблица 1), (далее «Вариант 5»).

Варианты оснащения ОЭС аппаратуры Т-2М1-03 телевизионными каналами, работающими в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 0,38...0,50$ мкм (видимый «синий») (таблица 1) и в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 0,50...0,65$ мкм (видимый «зеленый») (таблица 1) – не рассматриваются ввиду меньших значений K_{KC} и K_{MY} (таблица 2), чем у телевизионного канала $\lambda = 0,65...0,85$ мкм (видимый «красный») (таблица 1).

За базу для формирования нормированной стоимости бортовой ОЭС примем стоимость серийной телевизионной аппаратуры Т-2М1-01. Для оценки нормированной стоимости бортовой ОЭС, в которой применяются каналы среднего ИК-диапазона (MWIR), использованы стоимостные оценки отечественного фотоприемного модуля ФЭМ18М-02 с глубоким охлаждением по циклу Стирлинга, разработанного АО «НПО «Орион».

Для оценки нормированной стоимости бортовой ОЭС, в которой применяются каналы дальнего ИК-диапазона (LWIR), использованы стоимостные оценки отечественного микроболометрического фотоприемного модуля на основе оксида ванадия

(VOx) АСТРОН-650А17-1 фирмы АО «ОКБ «Астрон», г. Лыткарино.

По экспертным оценкам, значения нормированной стоимости бортовой аппаратуры мониторинга с различными вариантами ОЭС будут соответствовать значениям, приведенным в табл. 2.

Таблица 2. Значения нормированной стоимости бортовой аппаратуры мониторинга

Вариант исполнения	Вариант 1	Вариант 2	Вариант 3	Вариант 4	Вариант 5
Нормированная стоимость, S	1,0	2,0	1,2	2,0	1,3

Итоговая оценка бортовой системы мониторинга с различными вариантами исполнения ОЭС по критерию «эффективность/стоимость» приведена в табл. 3 и на рис. 2.

Таблица 3. Итоговая оценка бортовой системы мониторинга

Вариант исполнения	Спектральный диапазон, мкм	K_{KC}	K_{MY}	$K_{\text{дж}}$	S	W
Вариант 1	0,65–0,85	0,5	0,6	0,5	1,0	0,15
Вариант 2	3,0–5,0	0,85	0,8	0,5	2,0	0,17
Вариант 3	8,0–12,0	1,0	0,8	0,5	1,2	0,33
Вариант 4	(3,0–5,0) + + (0,65–0,85)	0,85	0,92	0,75	2,0	0,32
Вариант 5	(8,0–12,0) + + (0,65–0,85)	1,0	0,92	0,75	1,3	0,56

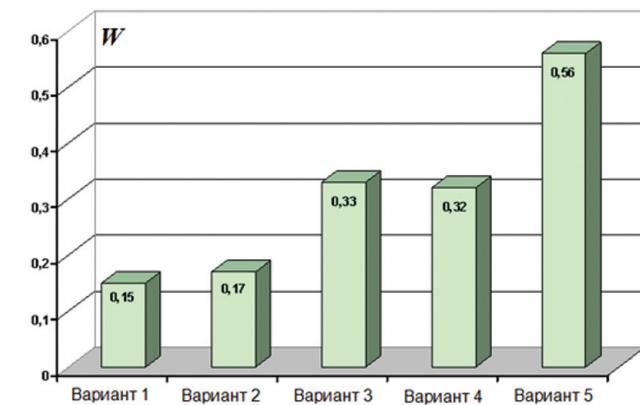


Рис. 2. Итоговая оценка бортовой аппаратуры мониторинга с различными вариантами исполнения ОЭС по критерию «эффективность/стоимость»

Как видно из табл. 3 и рис. 2 максимальная итоговая оценка по критерию «эффективность/стоимость» принадлежит варианту исполнения бортовой аппаратуры мониторинга с двухспектральной ОЭС («Вариант 5»), состоящей из канала дальнего ИК-диапазона (LWIR), работающего в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 8,0\ldots12,0$ мкм («инфракрасный 1») (табл. 1) + телевизионного канала, работающего в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 0,65\ldots0,85$ мкм (видимый «красный») (табл. 1).

ВЫВОДЫ

Проведенная оценка эффективности использования нескольких информационных каналов в бортовых ОЭС показала, что максимальная итоговая оценка по критерию «эффективность/стоимость» принадлежит варианту исполнения бортовой аппаратуры мониторинга с двухспектральной ОЭС, состоящей из канала дальнего ИК-диапазона (LWIR), работающего в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 8,0\ldots12,0$ мкм и телевизионного канала, работающего в спектральном диапазоне длин волн $\lambda = 0,65\ldots0,85$ мкм. Фотоприемники среднего ИК-диапазона (MWIR) $\lambda = 3,0\ldots5,0$ мкм, несмотря на повышенную чувствительность, в эксплуатации требуют глубокого охлаждения, что существенно повышает их стоимость. Их использование в бортовых

системах мониторинга оправдано для аппаратуры, выпускающейся малой серией.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ковин С.Д., Панков В.А., Сагдулаев Т.Ю. Авиационные системы спектронального телевидения. 2014 г. – 107 с.
2. Ковин С.Д., Сагдулаев Ю.С. Спектрональное телевидение и тепловидение в задачах идентификации объектов. Вопросы радиоэлектроники, сер. Техника телевидения, 2013, вып.2, с.123–136.

Ковин Сергей Дмитриевич,
к. т. н., зам. генерального директора ЗАО «МНИТИ»,
начальник отделения ЗАО «МНИТИ»

Селявский Терентий Валерьевич
зам. начальника отдела ЗАО «МНИТИ»

Сухачев Андрей Борисович,
д. т. н., главный научный сотрудник
ЗАО «МНИТИ»

Шапиро Борис Львович,
начальник отдела ЗАО «МНИТИ»,
лауреат премии правительства РФ,
Заслуженный конструктор РФ



Арзуманян Э.П., д. т. н., с. н. с.

ИНЖЕНЕРНЫЙ ПОДХОД К РЕАЛИЗАЦИИ БИЛИНЕЙНОГО ИНТЕРПОЛЯТОРА В СИСТЕМАХ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ

Предлагается практический подход к реализации билинейного интерполятора, рассматриваются различные режимы его работы, объясняется физический смысл отдельных процедур вычисления. Представленный материал способствует лучшей ориентации при выборе аппаратно-программных средств для технической реализации устройства. Основное внимание уделяется применению, особенно в телевизионных системах автосопровождения.

Ключевые слова: интерполятор, автосопровождение, корреляционные методы, критериальная функция.

ВВЕДЕНИЕ

Основная цель данной работы состоит в выработке рекомендаций по инженерной реализации важного функционального блока ТВ-системы автосопровождения – билинейного интерполятора изображения. При проектировании ТВ-систем автосопровождения используются различные алгоритмические решения, которые в принципе можно разделить на две группы: корреляционные и некорреляционные. Некорреляционные методы включают в себя сегментаторы и различные эвристические алгоритмы, в том числе центроидные и гистограммные. Корреляционные методы могут реализовываться в двух вариантах – с использованием классической, либо критериальной функции корреляции. Критериальная функция допускает некоторые упрощения при реализации по сравнению с классической функцией, которая требует большей вычислительной мощности, но обеспечивает более высокую точность и устойчивость.

При проектировании систем автосопровождения во многих случаях используют так называемое реперное сопровождение. В этом случае слежение за объектом производится с использованием нескольких реперов, т. е. относительно контрастных фрагментов наблюдаемого изображения, выделяемых, например, по наибольшей дисперсии. Такой подход обеспечивает высокую эффективность при плохих яркостно-контрастных характеристиках изображения в области объекта интереса, но требует дополнительных аппаратно-временных затрат пропорционально количеству следящих стробов.

При реализации корреляционного метода приходится учитывать масштабирование изображения,

возникающее из-за изменения его геометрических размеров при сближении или отдалении от наблюдаемой сцены. Процесс масштабирования может быть осуществлен с помощью билинейной интерполяции. Геометрические искажения могут также вызываться наклоном или поворотом наблюдаемого изображения относительно оптической оси, например, для осуществления стабилизации ТВ-камеры. Эти преобразования легко выполняются с помощью билинейной интерполяции.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Алгоритмы интерполяции известны [1–3] и применяются в таких видеотехнологиях, как телевидение, аппараты мобильной связи и др. В данной постановке задачи важное место занимает оптимальная организация вычислительных процессов по критерию максимального быстродействия. Такое требование возникает особенно при разработке специализированного решающего устройства с повышенными требованиями к массогабаритным и точностным характеристикам и быстродействию, например, при реализации реперного варианта, в котором одновременно действуют несколько следящих стробов или, тем более, при современных повышенных скоростях носителей, например, беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) [4]. Здесь для сохранения межкадровой корреляционной связи может возникнуть необходимость увеличения частоты кадров телевизионной камеры. В этом случае время, отведённое на выполнение всех вычислений, обеспечивающих автосопровождение, сократится, соответственно, вдвое или втрое. Наибольших затрат энергии и времени потребуют две сложные вычислительные процедуры:

- двумерная свёртка, необходимая для вычисления корреляционной функции каждого репера, а также для определения коэффициента масштабирования.
- билинейная интерполяция, необходимая для масштабирования, а также для других геометрических преобразований изображения, практически без существенного увеличения количества аппаратных средств.

Определение коэффициента масштабирования может быть осуществлено разными способами, на-

пример, на основе навигационных данных БПЛА, которые учитывают изменения дальности до объекта наблюдения. Известен и другой способ, использующий корреляционные или пространственно-частотные свойства наблюдаемой сцены, которые изменяются по мере изменения дальности наблюдения. В качестве инструмента измерения большую достоверность обеспечивает интервал (или радиус) корреляции, измеряемый в каждом ТВ-кадре с помощью классической автокорреляционной функции (АКФ), причем существуют разные методы оценки интервала корреляции [5]. В качестве примера в [6] рассматривается метод, при котором радиус корреляции, определяемый срезом АКФ, используется для установления оптимальных размеров строба, обрамляющего объект интереса. Данный приём позволяет не только определить меру изменения масштаба изображения, но при необходимости повернуть изображение с целью минимизации влияния фона в процессе селекции объекта.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ

Рассмотрим алгоритм и организацию вычислений билинейного интерполятора. В зависимости от решаемой задачи (масштабирование или вращение вокруг оптической оси) выбираем размер матрицы для запоминания фрагмента обрабатываемого изображения. Форму этого фрагмента целесообразно делать квадратной, причем его размер N практически всегда много меньше размера раstra.

Таким образом, решение задачи заключается в том, чтобы с запоминающего устройства, в котором хранится исходное изображение, адреса которого известны, считывать и формировать изображение, преобразованное другими адресами. Для формирования координатной сетки новых адресов памяти при масштабировании необходимы только коэффициенты увеличения/уменьшения по вертикали Cv и горизонтали Ch в отдельности. Тогда координатную сетку новых адресов памяти можно представить с помощью уравнений

$$\begin{aligned} Av_{i,j} &= (i-n) \cdot Cv + n, \\ Ah_{i,j} &= (j-n) \cdot Ch + n, \end{aligned} \quad (1)$$

где принято $n = N/2$ для центрирования системы координат. При произвольных значениях Cv и Ch величины $Av_{i,j}$ и $Ah_{i,j}$ могут оказаться дробными и даже отрицательными, что неприемлемо для обозначения адреса. Поэтому назовём $Av_{i,j}$ и $Ah_{i,j}$ виртуальными адресами, из которых получим необходимые параметры: значения истинных адресов и значения весовых коэффициентов масштабирования.

Для выполнения более сложных операций интерполяции, например, при повороте на угол γ относительно оптической оси или при наблюдении ландшафта с высоты H на дальности D при угле зре-

ния θ объектива, изменяются только уравнения (1), а остальные процедуры, как будет показано ниже, останутся без изменений при всех режимах работы интерполятора.

ИНТЕРПОЛЯТОР – ОБЩАЯ ЧАСТЬ

На рис. 1 приведена схема организации вычислений, которая является общей частью интерполятора.

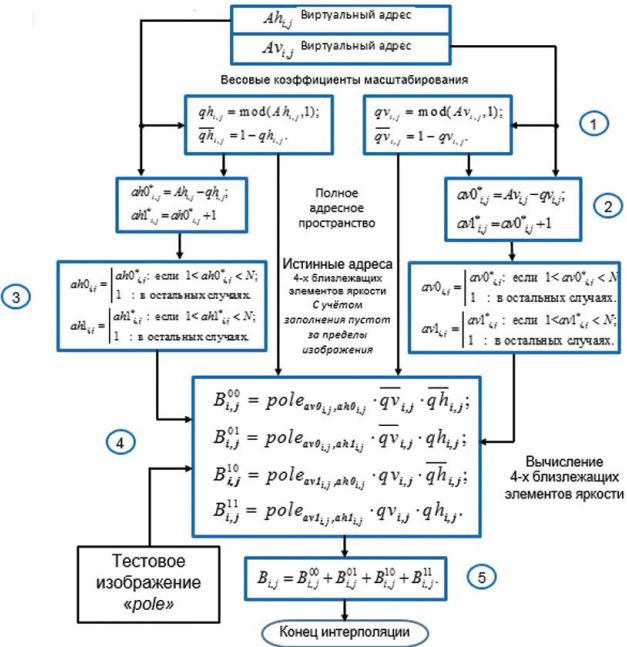


Рис. 1. Алгоритм и организация вычислений общей части билинейного интерполятора

Иерархические уровни вычислений условно обозначены номерами для пояснения физического смысла каждой процедуры. На первом уровне осуществляется выделение дробной части виртуального адреса. В данной модели qv и qh вычисляются по модулю «1» $\text{mod}(x, 1)$. В принципе для данной операции могут быть использованы другие аппаратные или программные подходы. Величины qv и qh являются инверсными значениями, т. е. дополнениями qv и qh до «1». На данном уровне вычисляются составляющие, попарные произведения которых формируют весовые коэффициенты масштабирования.

На втором уровне формируется полное пространство адресов с учётом адресов, которые могут оказаться за пределами границ изображения, например, при уменьшении его размеров. Операция заключается в выделении целой части виртуального адреса.

Третий уровень выполняет условные операции для выделения истинных адресов, исключая из общего адресного пространства ненужные (имеющие отрицательный знак).

На четвёртом уровне вычисляются четыре элемента изображения (пикселя), расположенные в окрестности искомого значения $B_{i,j}$ нового изобра-

жения. Для этого каждый из четырёх пикселей определяется индексированием исходного изображения *pole* матрицами новых истинных адресов и перемножением каждого результата на соответствующие весовые коэффициенты, состоящие из qv , qh , qv , qh .

На пятом уровне определяются значения $B_{i,j}$ как сумма вычисленных предыдущих четырёх результатов.

Таким образом вычисляется каждый пиксель $B_{i,j}$ интерполируемого изображения. Данная процедура остаётся неизменной при любых режимах работы интерполятора, т.е. при любых представлениях уравнений виртуального адреса.

Алгоритм, приведённый на рис. 1, даёт ясное представление о последовательности выполнения математических и логических операций. Отдельные функциональные блоки (уровни) могут быть реализованы на основе встроенных функций решающего устройства, а связи между ними указывают на возможность распараллеливания вычислений, например, адресных каналов Av и Ah . Применение индексной математики также может быть полезным при реализации уровня 3. Ещё один эффективный приём заключается в использовании табличного представления тригонометрических функций.

Примечание – в качестве сравнительной оценки по быстродействию приведём характеристики аналогичного устройства, разработанного и испытанного в 2003 г. Решающее устройство состояло из микропроцессора TMS320C25 с тактовой частотой микропераций 10 МГц и ПЛИС-а фирмы Xilinx с тактовой частотой 29 МГц. Размер интерполируемого изображения – 64×64 пикселей. В этих условиях один цикл интерполяции занимал время 6×10^{-3} с. Очевидно, современные технологии обеспечивают большие возможности по быстродействию и групповым операциям. Так, например, микропроцессор 1879ВМ6Я (NM6407) отечественного производства работает на частотах выше 200...300 МГц и в каждом такте выполняет операции над векторами. Современные ПЛИС-ы также обеспечивают быстродействие выше 100 МГц. Исходя из этого, можно реально прогнозировать реализацию предлагаемого интерполятора со временем выполнения одного цикла интерполяции за несколько десятков микросекунд.

ВИРТУАЛЬНЫЙ АДРЕС

Как было упомянуто выше, в виртуальном адресе содержатся только те аргументы, которые необходимы для обеспечения конкретного режима работы. Для выполнения всех функций, реализуемых в рамках данной работы, используются следующие параметры:

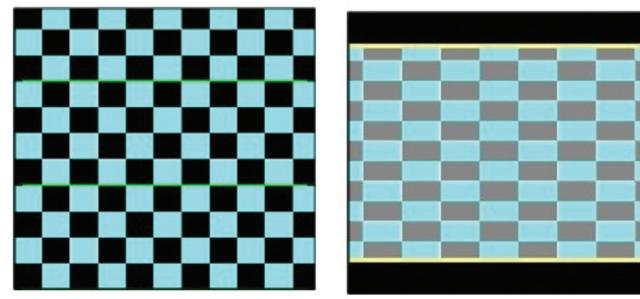
N – размер стороны квадратного изображения, пиксель; $n = N/2$;

Cv , Ch – коэффициенты масштабирования;
 γ – угол поворота относительно оптической оси;
 H – высота наблюдения, м;
 D – дальность наблюдения, м;
 θ – угол зрения объектива; ($d\theta = \theta/N$ – дискретный шаг угла зрения);
 δ – метрическое значение межэлементного расстояния, м/пиксель;
 $L = \delta \cdot N$ – линейный размер стороны квадратного изображения, м;
 $\varphi = \arctg(D/H)$ – угол наклона линии визирования;
pole – исходное (испытательное) изображение размером $N \times N$;
 i, j – переменные матрицы N .

Ниже приведены разные представления виртуального адреса, которые обеспечивают режимы работы интерполятора.

Режим 1 – масштабирование в соответствии с (1).

На рис. 2 приведён пример с разными коэффициентами масштабирования по координатным осям: $Cv = 0,7$; $Ch = 1,3$.



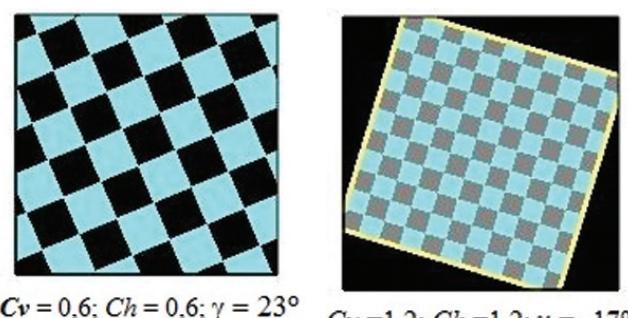
pole *B*

Рис. 2. Изображение «*pole*» является исходным при моделировании данного режима. Изображение *B* – результат масштабирования

Режим 2 – масштабирование с поворотом на произвольный угол γ .

$$\begin{aligned} Av_{i,j} &= (j-n) \cdot \sin(\gamma) \cdot Ch + (i-n) \cdot \cos(\gamma) \cdot Cv + n, \\ Ah_{i,j} &= (j-n) \cdot \cos(\gamma) \cdot Ch - (i-n) \cdot \sin(\gamma) \cdot Cv + n. \end{aligned} \quad (2)$$

На рис. 3 приведены варианты поворота с разными коэффициентами масштабирования.



$Cv = 0,6; Ch = 0,6; \gamma = 23^\circ$ $Cv = 1,2; Ch = 1,2; \gamma = -17^\circ$

Рис. 3. Два варианта, реализованные относительно исходного изображения «*pole*»

Режим 2 может быть использован самостоятельно, например, для электронной стабилизации наблюдаемого изображения при возмущениях по крену в летательных аппаратах. В этом случае ошибка стабилизации составляет $\Delta\varphi = \omega_e / F_k$, где $\omega_e = 2\pi \cdot f_k$ – круговая частота вращательного движения ТВ-камеры; f_k – частота колебаний; F_k – частота ТВ-кадров.

Частный случай: для поворота на 45 градусов тригонометрические функции не нужны.

$$\begin{aligned} Av_{i,j} &= (j-n) \cdot Ch + (i-n) \cdot Cv + n, \\ Ah_{i,j} &= (j-n) \cdot Ch - (i-n) \cdot Cv + n, \end{aligned} \quad (3)$$

Режим 3 – масштабирование с углом наклона линии визирования (тангаж).

$$\begin{aligned} Av_{i,j} &= (i-n) \cdot dh_j + n, \\ Ah_{i,j} &= (j-n) \cdot dh_j + n, \end{aligned} \quad (4)$$

где

$$dh_j = \frac{H}{\delta} \cdot \left(\operatorname{tg}\left(\varphi - \frac{\theta}{2} + (j+1) \cdot d\theta\right) - \operatorname{tg}\left(\varphi - \frac{\theta}{2} + j \cdot d\theta\right) \right) \quad (5)$$

межэлементное расстояние в оптическом поле [7].

На рис. 4 приведён пример изображения ландшафта, наблюдаемого с высоты H на расстояние D через оптическую систему с углом зрения θ .

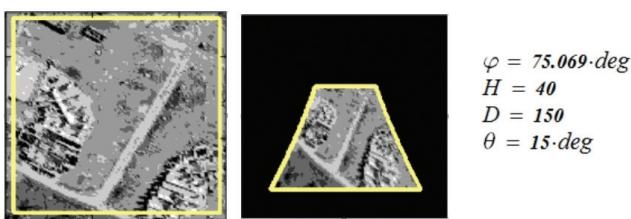


Рис. 4. Исходное изображение (слева). Справа: интерполированное изображение с данными наблюдения.

Режим 3 может быть успешно применён в системах распознавания объектов. Такая задача исследована в [8].

Для моделирования крена в выражении (5) достаточно заменить индексы i на j . Однако такое изображение в полёте практически не используется (боковое зрение при полёте вперёд). Воспроизведение возмущений по крену при наблюдении передней перспективы возможно путём осуществления двух заходов (двух циклов интерполяции). Первый заход выполняется в режиме 3, а второй – в режиме 2. Соответствующие результаты иллюстрирует рис. 5.



Первый заход по уравнению (3) Второй заход по уравнению (2)

Рис. 5. Результат двукратного интерполирования изображения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе выработаны рекомендации по инженерной реализации одной важной составляющей ТВ-системы автосопровождения – билинейного интерполятора изображения. Хотя в качестве основного предназначения указан корреляционный метод автосопровождения, интерполятор может найти самостоятельное применение в ряде других задач, таких как электронная стабилизация ТВ-камеры в случае возмущений по крену и распознавание образов, претерпевающих геометрические изменения. Но все эти применения связаны с распознаванием и автосопровождением объектов по ТВ-изображению.

С усовершенствованием алгоритмов обработки изображений в части повышения точности и устойчивости работы систем автосопровождения увеличивается и количество требуемых математических и логических операций. Поэтому для эффективного решения поставленной задачи важную роль играет правильный выбор современных технологических средств и организация вычислительных процессов. Учитывая, что в данном классе задач размеры изображения ограничены и составляют лишь небольшую долю стандартного размера, то поставленная цель может быть успешно достигнута, несмотря на высокие требования по быстродействию.

ЛИТЕРАТУРА

- Прэтт У. Цифровая обработка изображений. Пер. с англ. – М.: Мир, 1982. – Кн. 2 – 480 с., ил.
- Красильников Н.Н. Цифровая обработка 2D- и 3D-изображений. Учебное пособие: – СПб.: БХВ – Петербург, 2011. – 608 с.: ил.
- Половко А.М., Бутусов П.Н. Интерполяция. Методы и компьютерные технологии их реализации – СПб.: БХВ-Петербург, 2004. – 320 с.: ил.
- Вилкова Н.Н., Шахрай В.И., Арзуманян Э.П. Система управления беспилотным летательным аппаратом. – Патент РФ на полезную модель №155323, 2015 г.
- Жовинский В.Н., Арховский В.Ф. Корреляционные устройства. – М., «Энергия», 1974. 248 с.: ил.
- Арзуманян Э.П. Об одном методе селекции объектов для телевизионных координаторов. // Техника средств связи. Серия Техника телевидения. Вып. 1. – М., 2006. – С. 47–53.
- Арзуманян Э.П. Билинейный интерполятор для геометрического преобразования изображений // Техника средств связи. Серия Техника телевидения. – М., 2017. – С. 69–81.
- Арзуманян Э.П. Распознавание объектов на траектории полёта БПЛА путём коррекции параметров изображений. // Цифровая обработка сигналов, № 4. – М., 2018. – С. 28–34.

Арзуманян Эдуард Погосович,
д. т. н., с. н. с. ЗАО «МНИТИ»



Ефимов А.В.

ТРАДИЦИОННЫЕ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В УСИЛИТЕЛЯХ МОЩНОСТИ ЦИФРОВЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ПЕРЕДАТЧИКОВ

В статье рассматриваются методы коррекции нелинейностей в усилителях мощности сложных многочастотных сигналов, применяемых в цифровом телевещании. Разобраны особенности моделирования современных усилителей мощности. Представлен обзор различных схемных решений и алгоритмов цифровой обработки сигналов, позволяющих минимизировать влияние нелинейностей усилителей мощности.

Ключевые слова: усилитель мощности, нелинейность, цифровая обработка

ВВЕДЕНИЕ

Сложные многочастотные сигналы, в частности многочастотные сигналы с ортогональным частотным разделением каналов (англ. Orthogonal Frequency Division Multiplexing, OFDM), широко используются в большинстве современных и перспективных мультимедийных вещательных систем. Они обеспечивают высокую спектральную эффективность в сочетании с устойчивостью к межсимвольной интерференции, частотно-селективным замираниям при относительно невысокой сложностью реализации приемных трактов. OFDM сигналы приняты за основу в стандартах беспроводных локальных сетей — IEEE 802.11a,g,n (Wi-Fi), широкополосной беспроводной связи — IEEE 802.16 (WiMAX), цифрового телевещания — DVB-T/T2, DVB-C2, ISDB-T, DTMB, DTMB-A, ATSC 3.0, а также в российском стандарте аудио, видеовещания — РАВИС (аудиовизуальная информационная система реального времени, международное название — RAVIS, Real-time Audiovisual Information System).

Метод OFDM обладает рядом недостатков, в том числе большим пик-фактором сигнала и чувствительностью к нелинейности усилителя мощности (далее УМ). Второй недостаток обусловлен тем, что OFDM сигнал, поступающий на УМ, состоит одновременно из множества (от сотен для систем DRM+ и РАВИС до десятков тысяч для DVB-T2 и DTMB-A) одночастотных сигналов, передаваемых на ортогональных несущих частотах в течение длительности символа. В результате в отдельные моменты времени большое количество несущих может привести к большому выбросу сигнала относительно его среднего уровня. Это, в свою очередь, приводит к высоким требованиям

к линейности амплитудной характеристики УМ. Из-за нелинейности возникают различные внеполосные излучения, которые вызывают межканальную интерференцию, а также внутриполосные искажения в пределах ширины полосы пропускания канала, что увеличивает битовые ошибки в приемнике [1]. На рис. 1 представлены искажения, возникающие на выходе нелинейного УМ, при подаче на вход УМ двух пар синусоид, на рисунках 2 и 3 — при подаче на вход OFDM сигнала.

Вследствие этого необходимо либо использовать УМ с большим запасом по мощности, что является энергоеффективным решением, либо применять алгоритмы и методы линеаризации амплитудной характеристики УМ.

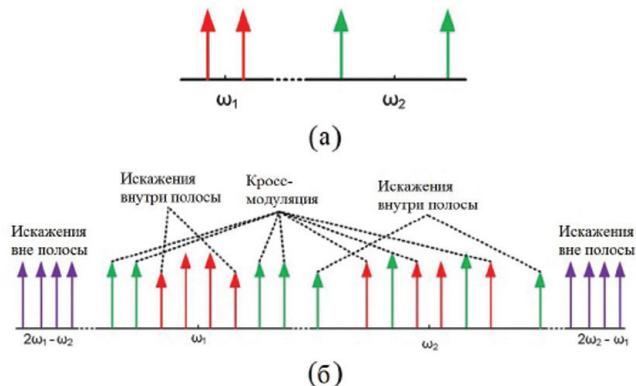


Рис. 1. Искажения, возникающие на выходе нелинейного УМ, при подаче на вход УМ двух пар синусоид

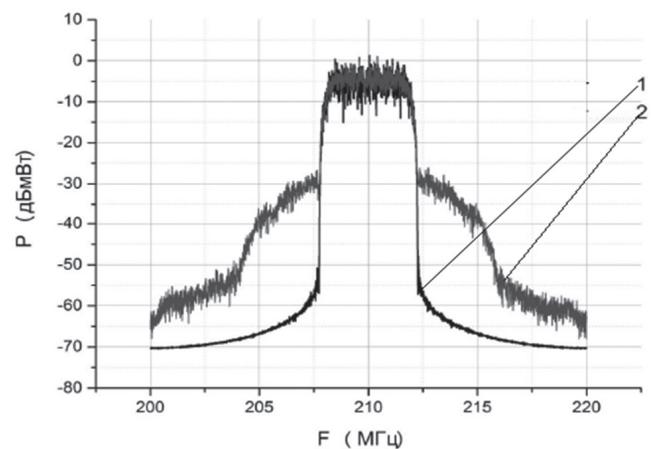


Рис. 2. Спектр OFDM сигнала на входе (1) выходе (2) нелинейного УМ при многочастотном воздействии

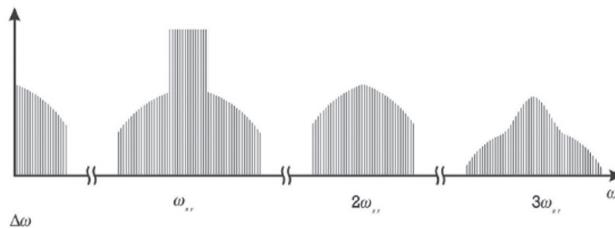


Рис. 3. Вид спектра с внеполосными излучениями на выходе нелинейного УМ при подаче на вход OFDM сигнала

МОДЕЛИ УМ

Для анализа различных алгоритмических методов линеаризации УМ применяется моделирование нелинейного УМ. При моделировании современных УМ необходимо учитывать эффект памяти, при котором отклик усилителя в данный момент времени зависит не только от текущего, но и от предыдущих входных воздействий. Данный эффект возникает по следующим причинам [2]. Во-первых, согласующие входная и выходная цепи содержат индуктивности, ёмкости и другие частотно-зависимые элементы, которые в общем случае являются инерционными. Во-вторых, при прохождении через усилитель мощных сигналов он прогревается, что изменяет электрические характеристики транзисторов. Целесообразно рассматривать модели УМ с учетом эффекта памяти, поскольку модели УМ без памяти используют только при очень ограниченной производительности [2].

УМ с учетом эффекта памяти могут быть представлены тремя моделями — Винера, Хаммерштейна и Винера-Хаммерштейна. Данные модели кратко рассмотрены ниже. Функциональная схема модели Винера изображена на рис. 4.

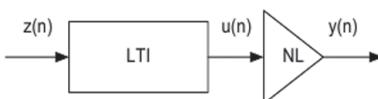


Рис. 4. Функциональная схема модели Винера

Модель Винера состоит из двух последовательно соединенных блоков: линейного блока с постоянными во времени параметрами LTI (linear time-invariant) и нелинейного блока без памяти NL (memoryless nonlinearity). Математически эта модель описывается преобразованием входного сигнала $z(n)$ в выходной $y(n)$ следующим образом:

$$u(n) = \sum_{l=0}^{L-1} a_l z(n-l), \quad y(n) = \sum_{k=1 \atop k \text{ odd}}^K b_k u(n) |u(n)|^{k-1}$$

$$y(n) = \sum_{k=1 \atop k \text{ odd}}^K b_k \left[\sum_{l=0}^{L-1} a_l z(n-l) \right] \left| \sum_{l=0}^{L-1} a_l z(n-l) \right|^{k-1},$$

где K — максимальная степень нелинейности, L — максимальная задержка, a и b — коэффициенты со-

ответственно линейного и нелинейного преобразования.

Одной из проблем определения параметров данной модели является необходимость решения системы нелинейных уравнений, что ведет к усложнению процедуры идентификации, которая отсутствует в модели Хаммерштейна [2].

Функциональная схема модели Хаммерштейна изображена на рис. 5.

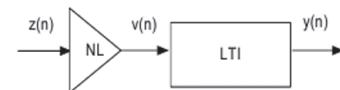


Рис. 5. Функциональная схема модели Хаммерштейна

Модель Хаммерштейна, как и модель Винера состоит из двух блоков, но соединенных в обратной последовательности:

$$v(n) = \sum_{k=1 \atop k \text{ odd}}^K b_k z(n) |z(n)|^{k-1}, \quad y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} c_l v(n-l),$$

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L-1} c_l \sum_{k=1 \atop k \text{ odd}}^K b_k z(n-l) |z(n-l)|^{k-1},$$

где K — максимальная степень нелинейности, L — максимальная задержка, b и c — коэффициенты соответственно нелинейного и линейного преобразования.

Функциональная схема модели Винера-Хаммерштейна изображена на рис. 6.

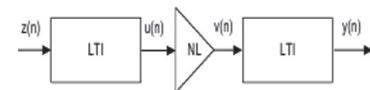


Рис. 6. Функциональная схема модели Винера-Хаммерштейна

Модель Винера-Хаммерштейна является комбинацией модели Винера и Хаммерштейна. Ее математическое описание выглядит следующим образом:

$$u(n) = \sum_{l=0}^{L_a-1} a_l z(n-l), \quad v(n) = \sum_{k=1 \atop k \text{ odd}}^K b_k u(n) |u(n)|^{k-1}$$

$$y(n) = \sum_{l=0}^{L_c-1} c_l v(n-l),$$

$$y(n) = \sum_{l_1=0}^{L_a-1} c_{l_1} \sum_{k=1 \atop k \text{ odd}}^K b_k \left[\sum_{l=0}^{L-1} a_l z(n-l_1-l) \right] \left| \sum_{l=0}^{L-1} a_l z(n-l_1-l) \right|^{k-1},$$

где a , c и b — коэффициенты линейных и нелинейного блоков соответственно.

Рассмотренные модели описывают в совокупности свойства нелинейного УМ с эффектом памяти. Применение данных моделей с различными методами цифровой предкоррекции рассмотрено в [2].

МЕТОДЫ КОРРЕКЦИИ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ В УМ

Методы, применяемые для линеаризации УМ, условно можно разделить на две большие группы: схемные и алгоритмические. Схемные представляют собой модернизацию схемы УМ с введением в нее дополнительных элементов для коррекции нелинейности и повышения КПД УМ. Алгоритмические методы не затрагивают схему УМ, а модифицируют сигнал на стадии модуляции, предыскажая его таким образом, что введенные предыскажения компенсируют нелинейности УМ.

При разработке передающего устройства обычно достигается компромисс между линейностью и энергетической эффективностью. Линейные усилители, имеющие низкий уровень искажений, характеризуются низким КПД. Для обеспечения высокого качества передачи необходимо иметь усилители с хорошей линейностью, что вступает в противоречие с необходимостью снижения потребляемой усилителем мощности. На рис. 7 изображена зависимость КПД и выходной мощности от входной мощности в УМ, иллюстрирующая это противоречие.

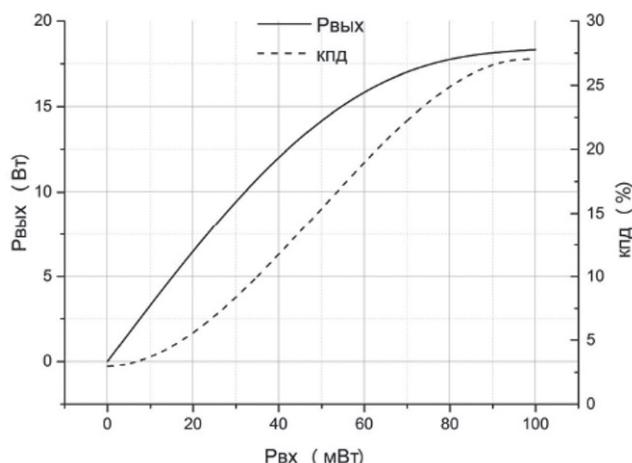


Рис. 7. Зависимость КПД и выходной мощности от входной мощности в УМ

Из графиков видно, что добиться высокого КПД УМ можно лишь в режиме, близком к насыщению, который характеризуется высоким уровнем нелинейных искажений. Для уменьшения искажений необходимо использовать УМ в недонапряженном режиме с большим запасом по мощности. При данном режиме УМ имеет низкий КПД и необходимо применять специальные схемные методы его повышения. Альтернативой может служить эксплуатация УМ в режиме, близком к насыщению, с применением различных методов линеаризации передающего тракта. В данной статье рассмотрены методы линеаризации УМ. Методы повышения КПД подробно освещены в [3].

СХЕМНЫЕ МЕТОДЫ

Схемные методы, позволяющие повысить энергетическую эффективность при использовании ли-

нейных режимов работы УМ, можно разделить на несколько типов:

- схемы с петлей обратной связи;
- схемы с прямой связью;
- схемы с применением предыскажений.

Данная классификация является весьма условной, и некоторые разработчики выделяют, к примеру, системы с инжекцией гармоник в отдельный класс методов линеаризации, а методы подавления и восстановления несущей и метод линейного усиления с нелинейными элементами обычно ассоциируются с методами повышения КПД системы, но могут быть использованы и для уменьшения нелинейных искажений [4].

В методе обратной связи по модулирующему сигналу выходной сигнал УМ через направленный ответвитель поступает в цепь обратной связи, в состав которой входит демодулятор. После демодуляции сигнал на низкой частоте поступает на вход модуляционного тракта и производит компенсацию искажений. Основной недостаток данного метода — узкая полоса пропускания петли для поддержания устойчивости системы и в некоторых случаях сложность реализации [3].

В методе полярной обратной связи фазовая и амплитудная составляющие сигнала обрабатываются независимо. Схема с полярной обратной связью обеспечивает относительно высокую эффективность усилителя мощности, который может быть полностью нелинейным, и устойчивым, благодаря наличию двух видов обратной связи. Основным недостатком полярной обратной связи является наличие двух различных цепей управления, имеющих различные полосы пропускания для кольца управления фазой и кольца управления амплитудой. Это обычно ведет к различным уточнениям амплитудно-амплитудной (АМ–АМ) и амплитудно-фазовой (АМ–ФМ) характеристик, что ухудшает характеристики в целом от тех значений, которые достижимы в передатчике с эквивалентной схемой с декартовой (квадратурной) петлей обратной связи [3].

В методе квадратурной обратной связи происходит компенсация искажений отдельной по синфазной и квадратурной составляющим сигнала. Для этого в цепи обратной связи применяется квадратурный демодулятор, синхронизированный с квадратурным модулятором перед УМ. Недостатком данной схемы является ее неустойчивость. Из-за различий в прямой и обратной цепях необходимо регулирование по фазе, чтобы поддерживать правильное соотношение между входными сигналами и сигналами обратной связи. Но главным недостатком этой схемы является узкая полоса пропускания, которая присуща данным широкополосным системам обратной связи [3].

Система с прямой связью включает в себя две петли прямой связи. Недостатками данного метода

являются, во-первых, низкий КПД схемы (не более 10–15 %) из-за высокой доли энергопотребления усилителя искажений, во-вторых, жёсткие ограничения на рассогласование сигналов по амплитуде (не более 0,3 дБ) и фазе (не более 2 град.) в каждой из петель для достаточно широкого диапазона частот.

МЕТОД ПРЕДЫСКАЖЕНИЙ

Главная идея метода предыскажений заключается в добавлении блока-корректора, вносящего искажения в сигнал перед тем как он поступит на вход УМ. Применяется каскадное включение корректора и УМ, которое и уменьшает нелинейные искажения. Системы предыскажений можно разделить на аналоговые и цифровые [4].

В аналоговых системах корректор имеет характеристики, инверсные амплитудно-амплитудной и амплитудно-фазовой характеристикам УМ, и реализуется с помощью аналоговых элементов: диодов, транзисторов в трактах высокой или предварительной частоты. Базовые принципы системы с аналоговыми предыскажениями иллюстрируют рис. 8 и рис. 9, где v_{bx} и v_{wy} входное и выходное напряжение соответственно, $G(v)$ – передаточная характеристика УМ, а $G_{pd}(v)$ – передаточная характеристика корректора. Передаточная характеристика $G_{pd}(v)$ имеет обратный вид по отношению к характеристике $G(v)$ УМ. Входной сигнал искажается корректором таким образом, что при прохождении через УМ получается усиленный сигнал без искажений. Рис. 9 демонстрирует принцип сложения амплитудных характеристик корректора и УМ.

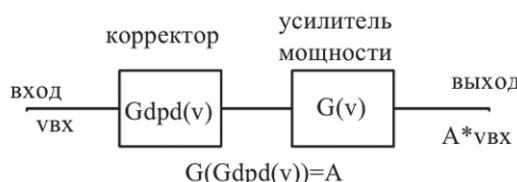


Рис. 8. Блок-схема системы, реализованной по методу предыскажений

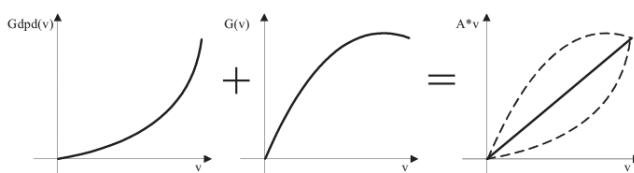


Рис. 9. Принцип метода предыскажений

АЛГОРИТМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ.

МЕТОД ЦИФРОВОГО ПРЕДЫСКАЖЕНИЯ

К алгоритмическим методам можно отнести метод предыскажения, реализованный в цифровых вещательных системах. Блок-схема системы с цифровым предыскажением изображена на рис. 10.

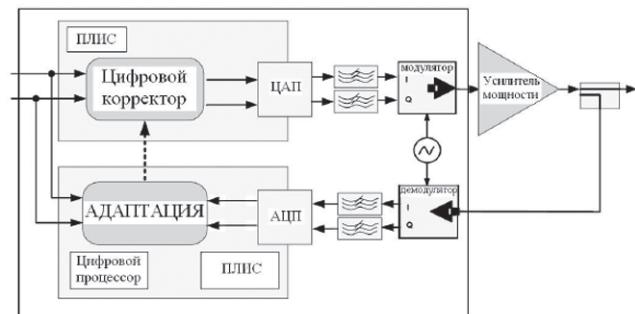


Рис. 10. Блок-схема системы с цифровым предыскажением

В данных системах характеристики цифрового корректора, инверсные по отношению к характеристикам УМ, вычисляются в цифровом виде в вычислительных устройствах, например, реализованных на ПЛИС. После вычисления характеристик происходит коррекция отсчетов цифрового сигнала, поступающих на вход корректора. После преобразования в аналоговый вид и модуляцию сигнала на радиочастоте проходит нелинейный УМ, после чего через направленный ответвитель поступает в цепь обратной связи. Цепь обратной связи состоит из демодулятора, АЦП и блока адаптации. Блок адаптации подстраивает эти характеристики цифрового корректора под меняющиеся условия работы УМ (температура, стабилизация активных элементов и прочее).

Можно выделить несколько групп методов для вычисления характеристик цифрового корректора:

- методы, основанные на рядах Вольтерра;
- методы, основанные на таблицах соответствия;
- методы, основанные на нейронных сетях.

МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА РЯДАХ ВОЛЬТЕРРА

Вычисление характеристик цифрового корректора на основе рядов Вольтерра часто применяется в системах линеаризации УМ. Рассмотрим данный метод подробнее. Общее выражение для рядов Вольтерра имеет вид:

В связи с экспоненциальным ростом числа коэффициентов при увеличении длины памяти и порядка полинома, на практике часто используется усеченный ряд Вольтерра [5]:

$$\begin{aligned} y[k] = & \sum_{i=0}^{M_1-1} a_1[i]x[k-i] + \\ & + \sum_{m=0}^{M_3-1} \sum_{n=0}^{M_3-1} \sum_{p=0}^{M_3-1} a_3[m, n, p]x[k-m]x^*[k-p] + \\ & + \dots + \sum_{m=0}^{M_Q-1} \sum_{n=0}^{M_Q-1} \dots \sum_{q=0}^{M_Q-1} a_Q[m, n, \dots, q]x[k-m]x[k-n] \dots \\ & \dots x^*[k-q]. \end{aligned}$$

где $x(k-m)$ – задержанный входной сигнал;

$x_{dpa}(k)$ – выходной сигнал;

$a_{p,m}$ – полиномиальные коэффициенты;
 P – порядок нелинейности.

M – глубина памяти.

Функциональная схема блока цифрового предыскажения на основе рядов Вольтерра приведена на рис. 11, где каждый блок нелинейности NL_i представляет собой полином степени P . Более подробно описание и результаты моделирования системы на основе данного метода приведены в [5].

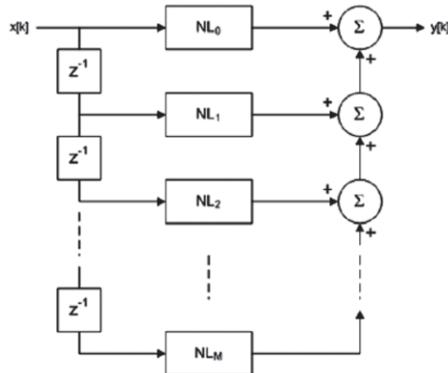


Рис. 11. Функциональная схема блока цифрового предыскажения на основе рядов Вольтерра

МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА ТАБЛИЦАХ СООТВЕТСТВИЯ

Основной принцип корректора на основе таблиц соответствия (Look-up-table или сокращенно LUT) состоит в том, что характеристика корректора реализуется посредством умножения каждого отсчета входного сигнала на комплексный коэффициент, амплитуда и фаза которого определяются в соответствии с характеристиками УМ [4].

По архитектуре построения корректоры с LUT можно разделить на несколько типов [4]:

- корректоры с таблицами отображения;
- полярные корректоры;
- корректоры с комплексным усилением.

В первом типе корректоров в качестве LUT используются две двумерные таблицы, отображающие квадратуры входных отсчетов x_I и x_Q в отсчеты выходных квадратур $y = x_I + f_I(x_I, x_Q)$ и $y = x_Q + f_Q(x_I, x_Q)$, где f_I и f_Q – функции предыскажения, зависящие от двух параметров и реализованные в первой и второй двумерных таблицах соответственно.

В случае полярного корректора используются две одномерные таблицы, реализующие функции предыскажения для амплитуды и фазы выходного сигнала $R_{out} = f_R(R_{in})$ и $\Phi_{out} = \Phi + f_\Phi(\Phi_{in})$. Если в случае первого корректора нам необходимо хранить в памяти устройств цифровой обработки сигналов $2k*2k$ коэффициентов, где k – количество уровней квантования входного сигнала, то в случае корректора с полярной архитектурой размер таблиц равен $2k$ коэффициентов, что значительно снижает количество используемых

блоков памяти и увеличивает скорость обработки сигнала [4].

Корректор с комплексным усилением включает в себя одну одномерную таблицу. Схематическое изображение такого корректора приведено на рис. 12.

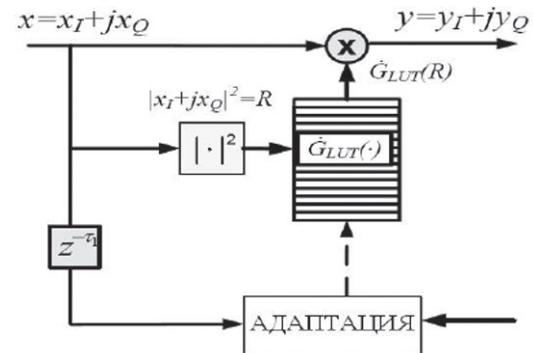


Рис. 12. Блок цифрового предыскажения на основе таблицы соответствия

Вычисление адреса коэффициента в таблице производится путём вычисления величины амплитуды входного сигнала (или мощности входного сигнала). Выходной же сигнал корректора вычисляется путём умножения полученного коэффициента на входной сигнал $y = x * GLUT(R)$. Более подробно корректоры на основе таблиц соответствия описаны в [4].

МЕТОДЫ, ОСНОВАННЫЕ НА НЕЙРОННЫХ СЕТЯХ

В настоящее время идет активное развитие такого направления, как нейронные сети. Различные алгоритмы, основанные на нейронных сетях, применяются во многих отраслях экономики и науки. При линеаризации передающего тракта цифровых передающих систем нейронные сети применяются для вычисления функции цифрового корректора. При корректном и обширном обучении нейронная сеть обеспечивает более высокую линеаризацию по сравнению с другими методами [6].

Рассмотрим некоторые применяемые нейронные сети. Одной из таких сетей является нейронная сеть на основе многослойного персептрона (NN) с двумя скрытыми слоями. Схема данной сети представлена на рис. 13 [6].

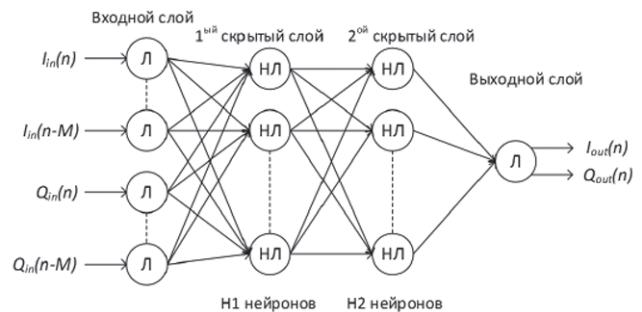


Рис. 13. Схема нейронной сети на основе многослойного персептрона

Данная сеть состоит из входного, выходного и 2 скрытых слоев. Входные и выходные слои содержат нейроны с линейной функцией активации (обозначены на схеме буквой Л), скрытые слои состоят из нейронов с нелинейной функцией активации (обозначены на схеме буквой НЛ). На вход сети подаются входные квадратурные отсчеты, поступающие на вход цифрового корректора. На выходе нейронной сети формируются квадратурные отсчеты предыскаженного сигнала.

На рис. 14 изображена схема рекуррентной нейронной сети. Данная нейронная сеть также содержит 2 скрытых слоя из нейронов с нелинейной функцией активации, но помимо этого, она обладает обратной связью. На вход сети поступают квадратурные отсчеты входных сигналов корректора и отсчеты уже предыскаженного сигнала с его выхода.

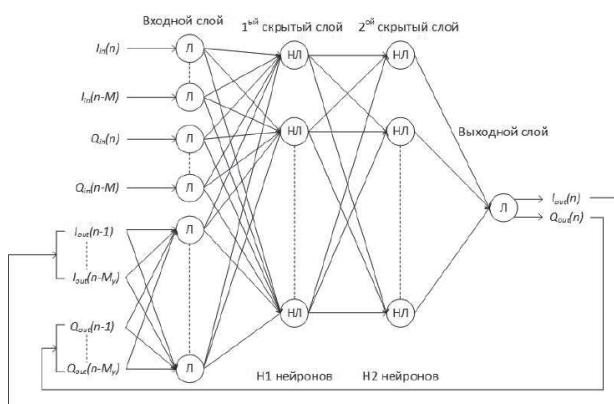


Рис. 14. Схема рекуррентной нейронной сети

Нейронные сети дают лучшие характеристики по линеаризации УМ, чем предыдущие рассмотренные методы, но требуют значительно больших вычислительных ресурсов. Корректоры на основе нейронных сетей могут применяться с УМ, имеющими большие нелинейные свойства и жесткие ограничения на спектральную маску сигнала. Более подробный анализ корректоров на основе нейронных сетей с их моделированием представлен в [6].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены проблемы прохождения многочастотных сигналов OFDM, применяемых во многих вещательных системах, включая цифровое телевидение, через современные УМ, обладающие нелинейными характеристиками. Произведен обзор методов моделирования современных нелинейных УМ и методов коррекции нелинейности характеристик УМ. Описаны основные применяющиеся методы линеаризации УМ, среди которых следует выделить метод цифрового предыскажения. Основные преимущества цифровых корректоров заключаются в следующем.

Во-первых, в этом случае линеаризация не связана с изменением параметров самого усилителя, а предполагает включение на его входе дополнительного

маломощного устройства (корректора), осуществляющего предварительное искажение входного сигнала с целью уменьшения нелинейных искажений на выходе усилителя.

Во-вторых, в отличие от цифровых, аналоговые корректоры нелинейных искажений основаны на применении одного или нескольких нелинейных элементов. Следовательно, поскольку передаточные характеристики корректора определяются амплитудно-амплитудной (ААХ) и амплитудно-фазовой характеристиками (АФХ) корректируемого усилителя, практически невозможно целенаправленно управлять параметрами аналогового корректора с тем, чтобы максимально скомпенсировать нелинейные искажения усилителя. В значительной мере свободен от этого недостатка цифровой корректор.

В-третьих, применение цифровых методов модуляции и использование схем прямого цифрового синтеза позволяет создать цифровой корректор в виде аппаратно-программного модуля, входящего в состав модулятора. Среди методов вычисления функции цифрового корректора стоит выделить методы, основанные на нейронных сетях, как наиболее перспективные в данном направлении в настоящее время. Они обладают лучшими свойствами по линеаризации УМ, чем остальные рассмотренные методы, а их основной недостаток, проявляющийся в необходимости использования больших вычислительных ресурсов в современное время устраняется все более возрастающими характеристиками вычислительных устройств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ле Ван Ки. Повышение эффективности систем цифрового вещания при OFDM-модуляции радиосигнала // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М. 2018.
2. Ле Ван Ки. Повышение эффективности систем цифрового вещания при OFDM-модуляции радиосигнала // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – М. 2018.
3. Высоколинейные усилители мощности [Электронный ресурс] / <http://radicom-review.blogspot.com>.
4. Шутов В.Д. Линеаризация СВЧ усилителей мощности методом цифровых предыскажений// Диссертация на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. – В. 2015.
5. Ермаков Н.В. Цифровое предыскажение сигналов в беспроводных системах передачи данных// Диссертация на соискание степени магистра. – С. 2017.
6. Гудкова Н. Адаптивное цифровое устройство компенсации нелинейности амплитудной характеристики усилителя мощности// Журнал Современная электроника, №4, 2010.

*Ефимов Алексей Владимирович,
ведущий инженер ЗАО «МНИТИ»*



Рожков К.Ю., к.т.н.

АВТОМАТИЧЕСКОЕ РАСПОЗНАВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЙ МЕТОК ВРЕМЕНИ ПРИ АНАЛИЗЕ ВИДЕОТЕЛЕМЕТРИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

В статье рассматривается задача сопряжения видео и сигнальной телеметрической информации во времени при отсутствии синхронизации информационных каналов. Предлагается решение, основанное на автоматическом распознавании изображений меток времени, представленных в кадре посредством символьного кода. Предложен оригинальный алгоритм автоматического распознавания изображений цифр и разделительных знаков в видеокадре.

Ключевые слова: распознавание изображений символов, алгоритм распознавания, синхронизация сигналов, анализ телеметрических сигналов, метки времени в видеокадрах.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В процессе испытаний комплекса аппаратуры при анализе телеметрической информации возникла необходимость сопряжения во времени данных из двух цифровых информационных каналов. Данные одного из них при записи снабжались кодами телеметрического времени в виде числовых значений, а данные другого (видеоканала) — содержали метки телеметрического времени, нанесённые непосредственно на видеоизображение в виде символов. Такая временная разметка данных двух каналов затрудняла совместный анализ информации во времени. Данные приходилось синхронизировать вручную.

С целью автоматизации анализа телеметрической информации разработан программный комплекс, обеспечивающий обработку зарегистрированных данных в нескольких форматах, а также сопряжение их с видеинформацией и формирование отчёта. Разработанный комплекс функционирует в системе математического моделирования *MatLab*.

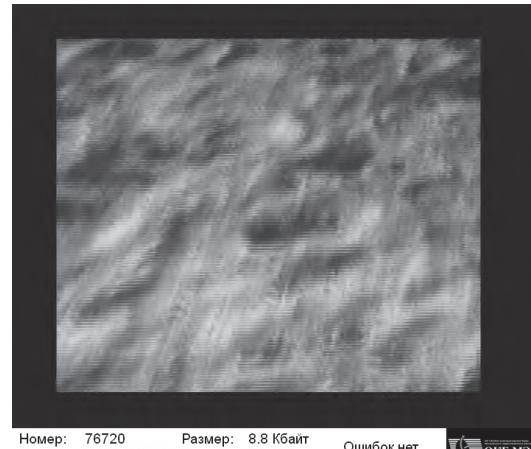
Аппаратура регистрации видеосигнала, имеющего кадровую частоту 25 Гц, обеспечивает его запись с частотой 6–15 Гц. Изменение частоты обусловлено случайным пропуском кадров. Поэтому для наиболее точного сопряжения видеоизображений с другими сигналами требуется получить метку времени регистрации каждого кадра. Для этого необходимо выполнять распознавание изображений символьных меток времени.

СПОСОБ РЕШЕНИЯ

При использовании функции *OCR (optical character recognition)* из библиотеки *MatLab* был получен неудовлетворительный результат. В связи с этим принято решение о разработке и использовании собственного алгоритма распознавания временных меток в видеоизображениях.

В силу того что положение и размер временной метки детерминированы и не изменяются от кадра к кадру, на вход алгоритма распознавания поступает не весь кадр, а лишь часть изображения, содержащая метку времени рассматриваемого кадра. На рис. 1 показан пример цифрового видеокадра и изображение метки времени, которое поступало на вход алгоритма.

Изображение меток времени имеет следующие характеристики: 256 уровней яркости, размер 123×27 элементов, толщина линии символа 2 элемента, изображение линии содержит элементы с различными уровнями яркости.



Номер: 76720 Размер: 8.8 Кбайт Ошибок нет
Время: 00:51:42.089 Скорость: 0.8 Мбит/с



а) Цифровой видеокадр

00:51:42.089

б) Изображение метки времени (показано увеличено)

Рис. 1. Примеры зарегистрированных видеотелеметрических изображений

Разработанный алгоритм является необучаемым, не использует современных сложных нейросетевых технологий. Эталоны распознаваемых знаков явля-

ются структурными и закодированы в логике обработки изображений. Такого рода алгоритмы иногда называют алгоритмами со «встроенным эталонами» или «безэталонными» алгоритмами.

Рассмотрим структуру разработанного алгоритма автоматического распознавания изображений символьных меток времени. Структурная схема алгоритма представлена на рис. 2. Прямоугольными блоками показаны процедуры обработки информации, а блоками параллелограммами – данные, полученные в результате обработки информации в предыдущем блоке.

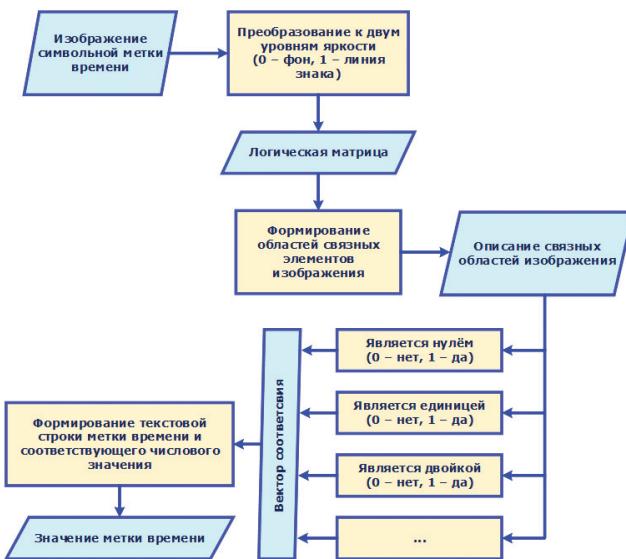


Рис. 2. Структурная схема алгоритма автоматического распознавания изображений символьных меток времени

Изображение символьной метки преобразовывается в логическую матрицу. Элементы изображения соответствующие линии знаков в данной матрице имеют единичные значения, элементы, относящиеся к фону, кодируются нулём. Для разделения элементов на фоновые и знаковые используется следующая логика. Изображение подвергается обработке двумерным матричным R -оператором [1], который обладает свойствами пространственно-частотной фильтрации. В сигнале отклика R -оператора элементы линии знаков имеют отрицательные значения. По этому признаку производится разделение элементов изображения:

$$\begin{aligned} I(x, y) &\xrightarrow{R} f(x, y), \\ P &= \langle \{I(i, j) : \forall i, j \ f(i, j) < 0\} \rangle, \\ \tilde{I}(x, y) &= \begin{cases} 1, & I(x, y) < P \\ 0, & I(x, y) \geq P \end{cases}, \end{aligned}$$

где $I(x, y)$ – распределение сигнала яркости в изображении символьной метки; $f(x, y)$ – сигнал отклика R -оператора при воздействии на матрицу изображения I ; P – величина порога бинаризации; $\langle \rangle$ – опе-

рация усреднения значений множества элементов $\{I(i, j)\}$.

В полученной логической матрице $\tilde{I}(x, y)$ формируются области связанных элементов, т. е. такие подмножества элементов, каждый элемент которых имеет хотя бы одного соседа из своего подмножества, другими словами, граничит хотя бы в одном из восьми направлений с ненулевым элементом из своего подмножества. Для таких подмножеств формируется перечень следующих параметров: координаты габаритного прямоугольника, маска, длина границы, площадь и координаты центра тяжести.

Рассмотрим, каким образом производится анализ изображения каждого выделенного знака метки времени. Логика строится на использовании нескольких структурных признаков. Первый признак – это принадлежность коэффициента формы области некоторому диапазону значений. Для вычисления коэффициента формы используется следующее соотношение:

$$sh = \frac{p^2}{S} - 12,$$

где p – длина границы области, а S – её площадь.

Второй признак – это открытость или закрытость области образованной линией (ООЛ) в данном направлении [2]. Поясним это на примере цифры пять. Изображение этой цифры имеет две области наибольших размеров, образованные линией. Верхняя область открыта вправо, а нижняя – влево. Это проиллюстрировано на рис. 3. Стрелками показано направление открытости.

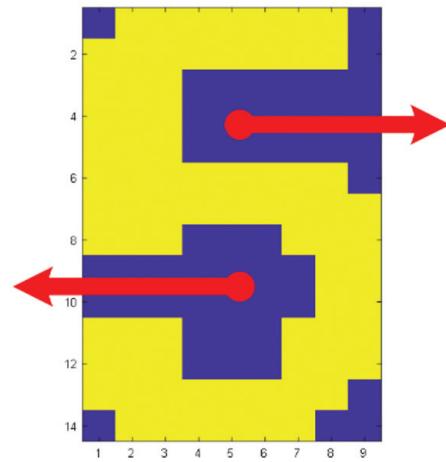


Рис. 3. Иллюстрация признака открытости (закрытости) области в некотором направлении

Используя указанные признаки, строится логика формирования решения о принадлежности рассматриваемого изображения соответствующему символу. В табл. 1 приведены иллюстрации каждого символа и представлено признаковое описание.

Таблица 1. Изображения символов и их признаковое описание

Признаковое описание	Признаковое описание
 <p>П1: Максимальная по размеру ООЛ закрыта во все стороны. П2: Эта область по габаритам близка к размеру изображения символа. П3: Коэффициент формы линии лежит в диапазоне (-0,4;1).</p>	 <p>П1: Одна из двух ООЛ (A_1) с наибольшей площадью расположена на другой областью A_2. П2: Область A_1 закрыта во всех направлениях. П3: Область A_2, закрыта во всех направлениях. П4: Коэффициент формы областей A_1 и A_2 меньше минус единицы. П5: Коэффициент формы линии лежит в диапазоне (4;7).</p>
 <p>П1: Максимальная по размеру ООЛ (A_1) расположена выше следующей по размеру области A_2. П2: Область A_1 открыта только влево. П3: Область A_2 открыта только вправо. П4: Коэффициент формы линии больше 25.</p>	 <p>П1: Одна из двух ООЛ (A_1) с наибольшей площадью расположена на другой областью A_2. П2: Область A_1 закрыта во всех направлениях. П3: Область A_2, открыта только влево. П4: Коэффициент формы области A_1 меньше минус единицы, а области A_1 и A_2 лежит в диапазоне (5;10). П5: Коэффициент формы линии лежит в диапазоне (10;20).</p>
 <p>П1: Максимальная по размеру ООЛ расположена в центре изображения символа. П2: Эта область открыта только влево. П3: Коэффициент формы данной области больше 7,5. П4: Коэффициент формы линии больше 25.</p>	
 <p>П1: Максимальная по размеру ООЛ (A_1) открыта вверх и влево. П2: Коэффициент формы области A_1 лежит в диапазоне (2;4,5). П3: Имеется область A_2, закрытая во все стороны. П4: Коэффициент формы области A_2 лежит в диапазоне (2;4,5). П5: Коэффициент формы линии больше лежит в диапазоне (7,5;10).</p>	
 <p>П1: Одна из двух ООЛ (A_1) с наибольшей площадью расположена на другой областью A_2. П2: Область A_1 открыта только вправо (или вправо и вверх). П3: Область A_2, открыта только влево. П4: Коэффициент формы области A_1 лежит в диапазоне (1,5;4,5), а области A_2 – меньше 0,5. П5: Коэффициент формы линии больше 25.</p>	
 <p>П1: Одна из двух ООЛ (A_1) с наибольшей площадью расположена на другой областью A_2. П2: Область A_1 открыта только вправо. П3: Область A_2, закрыта во всех направлениях. П4: Коэффициент формы области A_1 лежит в диапазоне (5;15), а области A_2 – меньше 0,5. П5: Коэффициент формы линии лежит в диапазоне (10;20).</p>	
 <p>П1: Имеются только две ООЛ A_1 и A_2 расположенные друг над другом; П2: Область A_1 открыта влево и вниз. П3: Область A_2, открыта вправо и вниз. П4: Коэффициент формы области A_1 лежит в диапазоне (5;15), а области A_2 – в диапазоне (1;10). П5: Коэффициент формы линии лежит в диапазоне (15;25).</p>	

При распознавании знаков «точка» и «двоеточие» использовались следующие признаки. В качестве кандидатов на принадлежность данным символам выбирались области, площадь которых не превосходит 10 элементов. Строилась верхняя треугольная матрица расстояний между всеми отобранными областями. Те пары отобранных по площади областей, расстояние между центрами которых не превосходит пяти элементов, выделялись как знак «двоеточие». Прочие отобранные по площади области считались «точками».

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для оценки вероятности распознавания изображений временных меток использовалась выборка из 1215 изображений, в которой количество отдельных знаков составляло: нулей – 3199, единиц – 914, двоек – 1121, троек – 1103, четвёрок – 1053, пятёрок – 1153, шестёрок – 530, семёрок – 500, восьмёрок – 991, девяток – 371, знаков точка – 1215, знаков двоеточие – 2430. Распределение количества символов по знакам показано на рис. 4.

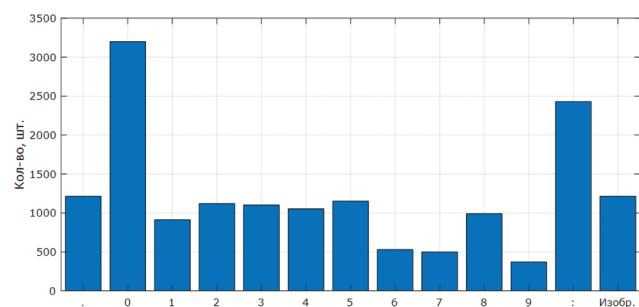


Рис. 4. Распределение количества символов

При сравнении алгоритмов получены следующие результаты. Разработанный алгоритм позволяет распознавать изображения временных меток на видеокадрах со 100% вероятностью. Вероятность правильного распознавания алгоритмом, реализованным в библиотеках *MatLab* (функция *OCR*) при исходном размере изображения равна 0%, при двухкратном увеличении изображения вероятность распознавания составляет 16%. Изображение метки времени считалось распознанным, если был правильно распознан каждый знак метки, включая знаки точки и двоеточия.

Анализ низкой эффективности алгоритмов распознавания символов, реализованных в библиотеках *MatLab*, показал, что при исходном размере изображения пятый символ неверно разделяется с двоеточием, что приводит к систематической ошибке распознавания. Прочие символы распознаются достаточно хорошо. При увеличении размера изображения метки времени символы надёжно разделяются, но имеет место систематическая ошибка распознавания символа «ноль». Даже в одном изображении этот символ распознаётся и как «ноль», и как буква «о». Замена «нуля» на букву «о» в дальнейшем приводит к ошибке формирования числового значения времени.

Ниже приведён пример результатов распознавания:

«00:43:25.046» – разработанный алгоритм;
«00:4225.046» – алгоритм из библиотеки *MatLab*;
«**OO**:43:25.046» – алгоритм из библиотеки *MatLab* (изображение увеличено в два раза).

Оценка времени выполнения распознавания различными алгоритмами дала следующие результаты:

- разработанный алгоритм – 0,043с;
- алгоритм *MatLab* – 0,058 с;
- алгоритм *MatLab* (изображение увеличено в два раза) – 0,053 с.

Замеры времени производились с использованием одного изображения при тысячакратном повторе-

нии процедуры распознавания на ПЭВМ *Dell Optiplex 9010* (процессор *i7* 3.4Гц, ОЗУ 8 ГБ) под управлением 64-разрядной ОС *Win7* и *MatLab R2018b*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработанный алгоритм автоматического распознавания изображений меток времени на видеокадрах показал лучшие результаты как по вероятности правильного распознавания, так и по времени выполнения.

Использование разработанного алгоритма позволило существенно упростить и ускорить сопряжение видеонформации с другими зарегистрированными в процессе испытаний сигналами и, следовательно, сократить время анализа телеметрической информации.

Разработка собственного достаточно несложного алгоритма позволила эффективно решить простую задачу распознавания меток времени в видеокадрах, хотя универсальный алгоритм *OCR*, реализованный в библиотеке *MatLab*, показал существенно меньшую эффективность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савин В.Д. Репрезентные алгоритмы – новый класс алгоритмов автоматического распознавания // Проблемы информатизации. – 1998. – № 2.

2. Савин В.Д., Рожков К.Ю. Эффективный алгоритм распознавания рукописных цифр, построенный на базе топологических признаков, не зависящих от микроструктуры изображения // Научно-технический сборник «Техника средств связи. Серия: Техника телевидения» выпуск 1, М.: ЗАО «МНИТИ», 2004 г. С. 90 – 100.

Рожков Константин Юрьевич,
к. т. н., начальник сектора ЗАО «МНИТИ»



**Сорока Е.З., к.т.н., с.н.с.,
Филатов В.С., к.т.н.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ ВИДЕОНАБЛЮДЕНИЯ ИК-ДИАПАЗОНА

Рассматриваются характеристики звеньев тракта формирования изображения оптико-электронными системами, включая слой атмосферы, ИК-объектив, ИК-камеру с матричным датчиком изображения и постпроцессор видеосигнала. Оценивается их влияние на результирующее изображение, которое проявляется как линейные искажения, приводящие к снижению четкости изображения, а также как нелинейные искажения вследствие дискретизации изображения в ИК-камере, приводящие к появлению на изображении помехи в виде «блочности» изображения. Для исследования используется спектральный подход на основе преобразования Фурье.

Ключевые слова: видеонаблюдение, ИК-диапазон, частотно-контрастная характеристика (ЧКХ).

ВВЕДЕНИЕ

Нередко чуть ли не единственным методом обоснования требований к перспективным ИК-системам видеонаблюдения, в силу отсутствия возможностей проведения натурных экспериментов, является математическое моделирование формирования изображения такими системами. При этом необходимо учитывать не только свойства наблюдаемых объектов, но и характеристики сквозного тракта формирования изображения. Этот тракт фактически состоит из двух звеньев: слоя атмосферы между наблюдаемым объектом и регистратором излучения и собственно регистратора излучения, содержащего ИК-чувствительную камеру с матричным сенсором и блок электронной обработки получаемого видеосигнала.

Далее рассматриваются особенности моделирования тракта формирования изображения в оптико-электронных ИК-системах видеонаблюдения, основу которого составляют спектральные методы на основе преобразования Фурье и методы теории дискретизации.

ОБЩИЙ ПОДХОД К МОДЕЛИРОВАНИЮ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Моделирование процесса формирования изображения оптико-электронными ИК-системами видеонаблюдения включает следующие основные операции:

- получение двумерного спектра пространственных частот $B_0(f_x, f_y)$ входного изображения $B_0(x, y)$ с использованием двумерного преобразования Фурье $B_0(f_x, f_y) = F[B_0(x, y)] = \exp[-2\pi j(f_x x + f_y y)] dx dy, (1)$ где F – прямое преобразование Фурье, x и y – горизонтальная и вертикальная координаты изображения; f_x и f_y – горизонтальная и вертикальная частоты в спектре изображения;
- формирование частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) оптического тракта $K_{\text{опт}}(f_x, f_y)$, учитывающей ЧКХ слоя атмосферы $K_{\text{атм}}(f_x, f_y)$ и ЧКХ объектива $K_{\text{об}}(f_x, f_y)$;
- формирование двумерного спектра $B_1(f_x, f_y)$ изображения $B_1(x, y)$ на входе регистратора излучения с учетом ЧКХ оптического тракта;
- получение двумерного спектра $B_2(f_x, f_y)$ выходного изображения $B_2(x, y)$ с учетом предфильтрации изображения с ЧКХ $K_1(f_x, f_y)$, обусловленной интегрированием потока излучения по площади пикселя, и дискретизации изображения матричным сенсором, описываемой дискретизирующими функциями $D(x, y)$ и $D(f_x, f_y)$;
- учет действия постпроцессора обработки изображения;
- получение изображения на выходе регистратора оптико-электронной системы с использованием обратного преобразования Фурье:

$$B_2(x, y) = F^{-1}[B_2(f_x, f_y)]. \quad (2)$$

Эквивалентная схема полного тракта формирования ИК-изображения представлена на рис. 1.

Все блоки эквивалентной схемы (кроме блоков 6 и 7) оказывают воздействие на спектр изображения и, следовательно, влияют на характеристики выходного изображения.

ФОРМИРОВАНИЕ ЧКХ ОПТИЧЕСКОГО ТРАКТА (БЛОКИ 1 И 2)

При моделировании оптического тракта формирования изображения следует учитывать два его основных элемента: слой атмосферы (между наблюдаемым объектом и регистратором излучения) и ИК-объектив регистратора излучения. ЧКХ оптического тракта $K_{\text{опт}}(f_x, f_y)$ определяется следующим образом:

$$K_{\text{опт}}(f_x, f_y) = K_{\text{атм}}(f_x, f_y) \times K_{\text{об}}(f_x, f_y); \quad (3)$$

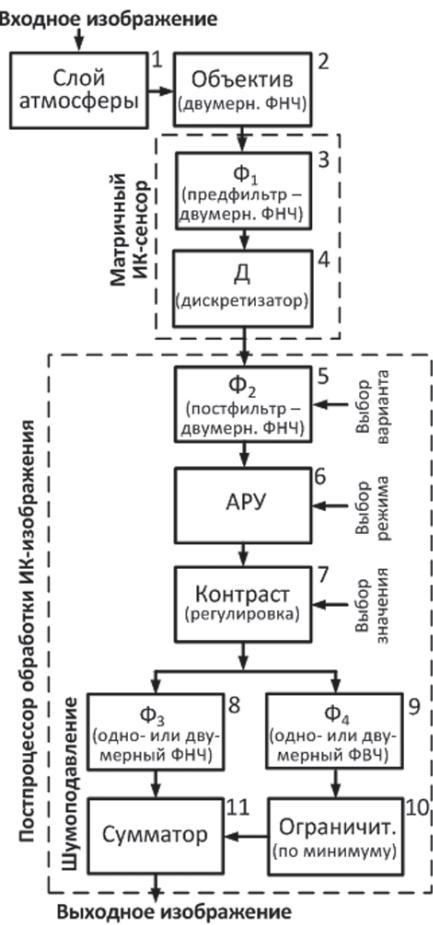


Рис. 1. Эквивалентная схема полного тракта формирования ИК-изображения

где $K_{\text{атм}}(f_x, f_y)$ – ЧКХ слоя атмосферы между наблюдаемым объектом и регистратором излучения, $K_{\text{об}}(f_x, f_y)$ – ЧКХ объектива.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧКХ СЛОЯ АТМОСФЕРЫ (БЛОК 1)

Дистанционное тепловизионное наблюдение за объектами всегда происходит через слой атмосферы определенной протяженности, который оказывает искажающее воздействие на проходящий тепловой поток. Это воздействие обусловлено наличием в атмосфере микро- и макрочастиц газов, жидких и твердых веществ, свойства которых изменяются под действием внешних факторов (температура, ветер, давление и т. п.). Такие взвеси частиц в воздухе приводят к образованию дымов, тумана, дымки и других помеховых явлений.

Слой атмосферы оказывает двоякое действие на оптический сигнал: во-первых, вызывает общее его ослабление и, во-вторых, приводит к относительно му ослаблению высокочастотных деталей, т. е. к потерю четкости изображения [1–3].

В работе [1] приводятся данные для четырех экспериментов по оценке ЧКХ атмосферы $K_{\text{атм}}(f)$ при различных плотностях тумана, которые отражены

на рис. 2 значками различной формы. Показаны также графики функций $\exp(-\alpha f)$, взятые для аппроксимации экспериментальных данных.

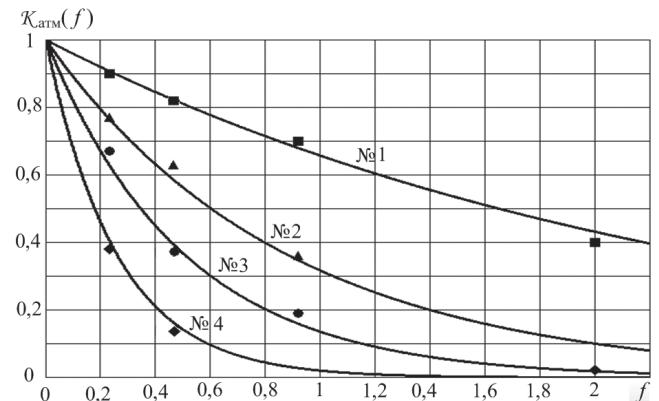


Рис. 2. ЧКХ атмосферы $K_{\text{атм}}(f)$ с различной плотностью тумана (частота f в периодах на градус)

Значения параметра α определяются общими коэффициентами передачи тумана (табл. 1).

Таблица 1. Общие коэффициенты передачи и параметр α

№ эксперимента	1	2	3	4
Коэффициент передачи	0,4	0,1	0,067	0,016
Коэффициент α	0,42	1,15	2,0	3,9

Таким образом, при прохождении слоя атмосферы происходит ослабление высоких частот в спектре изображения, которое усиливается с уменьшением общего коэффициента передачи и приводит к потере четкости изображения.

Аналогичные зависимости были значительно ранее теоретически установлены отечественным исследователем В.А. Смирновым [2].

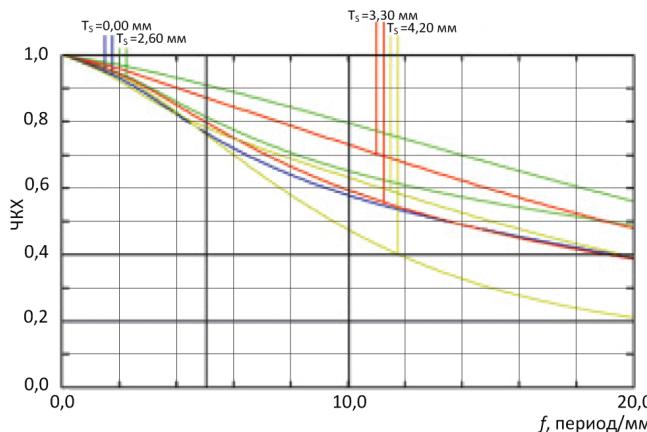
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЧКХ ИК-ОБЪЕКТИВА (БЛОК 2)

Действие объектива в первом приближении можно рассматривать как двумерную фильтрацию низких частот, которая приводит к определенному ослаблению высоких частот в пространственном спектре формируемого изображения, т. е. к его определенному сглаживанию.

ЧКХ типовых ИК-объективов для систем видеонаблюдения, работающих в ИК-диапазонах спектра (3–5 и 8–14 мкм), являются кругосимметричными и могут описываться одномерными функциями радиуса, монотонно убывающими с увеличением частоты.

В настоящее время ИК-объективы выпускаются несколькими компаниями. В качестве примеров рассмотрим объективы разработки ЛОМО и КТИПМ.

На рис. 3 приведены измеренные ЧКХ одного из ИК-объективов ЛОМО для различных ходов лучей [4]. Приведенные значения T_s указывают отклонение хода лучей от оси в миллиметрах в поле изображения.

Рис. 3. ЧКХ одного из объективов ЛОМО для $l = 8\text{--}14 \text{ мкм}$

Далее ограничимся рассмотрением ЧКХ объективов только для центрального хода лучей (синий график на рис. 3). Для аппроксимации этой характеристики было подобрано два аналитических выражения. Первое имеет вид

$$K'_{\text{об}}(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,022(1,4f)^{1,7}}} \quad (4)$$

и обеспечивает довольно точную аппроксимацию исходной ЧКХ (штрих-пунктирный график на рис. 4).

Выражение (5) обеспечивает менее точную аппроксимацию (на рис. 4 соответствующий график показан сплошной линией), но является более удобным для дальнейшей математической обработки.

$$K''_{\text{об}}(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + 0,02f^2}}. \quad (5)$$

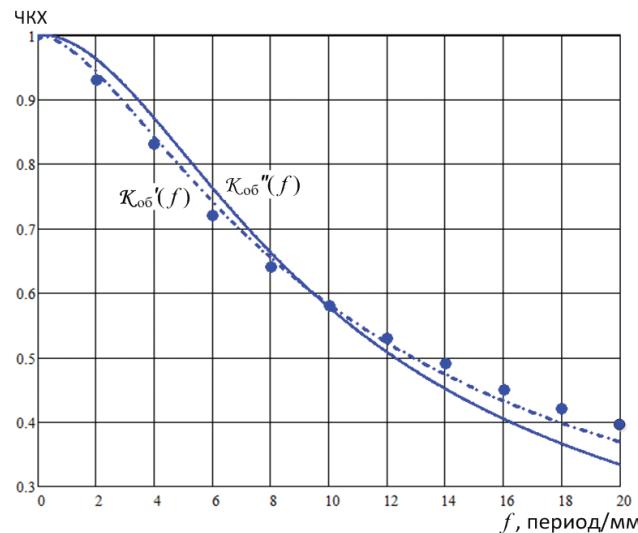


Рис. 4. Точки ЧКХ объектива № 1 и две аппроксимирующие кривые

В общем виде это выражение можно записать как

$$K_{\text{об}}(f) = \frac{1}{\sqrt{1 + af^2}}, \quad (6)$$

где a — параметр, определяющий форму «колокольной» функции. Наиболее простым путем вычисления параметра a является использование значения коэффициента передачи $K_{\text{cp}}(f_{\text{cp}})$ для средней частоты всего диапазона частот. Тогда на этой частоте обеспечивается точное совпадение значения аппроксимирующей функции с исходным значением, а на остальных частотах достигаются минимальные отклонения от исходных значений ЧКХ.

Практически производители ИК-объективов задают ЧКХ следующими способами:

- графиком зависимости ЧКХ от частоты;
- одной точкой ЧКХ на определенной частоте;
- двумя точками ЧКХ на двух частотах.

При задании ЧКХ одной точкой $K_{\text{об}}(f_0)$ параметр a определяется, исходя из формулы (6).

При задании ЧКХ двумя точками $K_{\text{об}}(f_1)$ и $K_{\text{об}}(f_2)$ параметр a определяется как среднее соответствующих двух значений, определенных по формуле (6).

В качестве примеров ЧКХ, задаваемых одной точкой, на рис. 5 приведены ЧКХ двух объективов КТИПМ (производитель — филиал ИФП СО РАН «КТИПМ», г. Новосибирск) для диапазонов 3–5 и 8–12 мкм. Данные ЧКХ построены по формуле (6) исходя из заданных в паспортах объективов коэффициентов передачи [5].

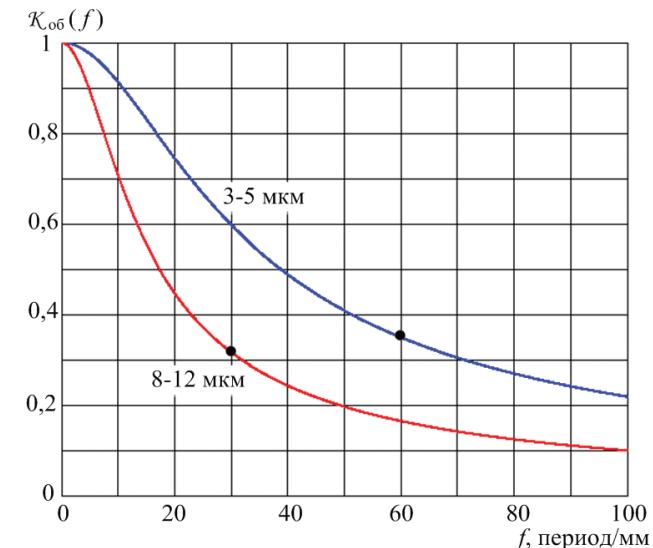


Рис. 5. ЧКХ объективов КТИПМ для диапазонов 3–5 и 8–12 мкм

УЧЕТ ДЕЙСТВИЯ МАТРИЧНОГО ИК-СЕНСОРА (БЛОКИ 3 И 4)

Действие матричного ИК-сенсора рассматривается с учетом его эквивалентной схемы, в которой последовательно включены входной двумерный фильтр низких частот (предфильтр) и двумерный дискретизатор. При этом также учитывается действие выходного двумерного фильтра низких частот (постфильтра — блока 5).

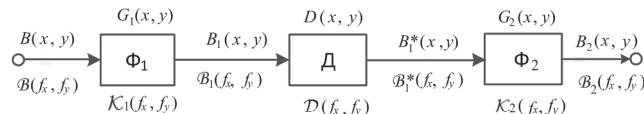


Рис. 6. Эквивалентная схема двумерной дискретизации

На рис. 6 представлена эквивалентная схема дискретизации, введенная Н.К. Игнатьевым [6]. Достоинство этой схемы состоит в том, что она позволяет четко разделить функции предфильтрации, постфильтрации и собственно дискретизации (разбиения на дискретные отсчеты, выполняемого ИК-матрицей). Здесь использованы следующие обозначения:

- $B(x, y)$, $B_1(x, y)$, $B_1^*(x, y)$, $B_2(x, y)$ – двумерные функции (изображения) соответственно на входе, после фильтра Φ_1 (предфильтра), после дискретизатора Δ и после фильтра Φ_2 (постфильтра);
- $B(f_x, f_y)$, $B_1(f_x, f_y)$, $B_1^*(f_x, f_y)$, $B_2(f_x, f_y)$ – двумерные спектры соответствующих изображений;
- f_x и f_y – горизонтальная и вертикальная пространственные частоты;
- $G_1(x, y)$, $G_2(x, y)$ – импульсные характеристики фильтров Φ_1 и Φ_2 ;
- $K_1(f_x, f_y)$, $K_2(f_x, f_y)$ – частотные характеристики фильтров Φ_1 и Φ_2 ;
- $D(x, y)$ – двумерная дискретизирующая функция, представляющая собой двойную сумму смещенных дельта-функций. Ее перемножение на изображение создает матрицу отсчетов изображения;
- $D(f_x, f_y)$ – двумерная спектральная дискретизирующая функция, также представляющая собой двойную сумму смещенных дельта-функций. Ее свертка со спектром исходного изображения приводит к периодизации спектра исходного изображения по обеим частотным координатам, что иллюстрирует рис. 7.

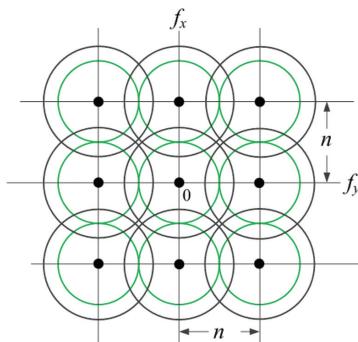


Рис. 7. Линии уровня спектра дискретизированного изображения

Периодизированный спектр дискретизированного (и предфильтрованного) изображения представляет собой сумму вида

$$B_2^*(f_x, f_y) = \sum_{k_1} \sum_{k_2} B_1(f_x - k_1 n, f_y - k_2 n), \quad (7)$$

где n – число строк в светочувствительной матрице камеры.

Наиболее мешающее действие оказывают побочные спектральные составляющие, непосредственно примыкающие к основному спектру по горизонтальной и вертикальной оси. Как видно из рис. 7, таких составляющих всего четыре. Таким образом, выражение для двумерного спектра, позволяющее учесть искажения при дискретизации изображения матрицей, может быть записано в виде суммы

$$B_2^*(f_x, f_y) = B_0(f_x, f_y) + B_\pi(f_x, f_y), \quad (8)$$

где $B_0(f_x, f_y)$ – основная (полезная) составляющая спектра, прошедшая через предфильтр Φ_1 , а $B_\pi(f_x, f_y)$ – учитываемые мешающие (побочные) составляющие, возникающие при дискретизации изображения.

С учетом предфильтрации основная составляющая выражается как

$$B_0(f_x, f_y) = B(f_x, f_y) K_1(f_x, f_y). \quad (9)$$

Наиболее мощные мешающие составляющие, смежные с основной по горизонтальной и вертикальной частотам, выражаются усеченной суммой

$$B_\pi(f_x, f_y) = B_1(f_x - n, f_y) + B_1(f_x + n, f_y) + B_1(f_x, f_y - n) + B_1(f_x, f_y + n). \quad (10)$$

Еще четыре «диагональные» составляющие $B_1(f_x \pm n, f_y \pm n)$, также показанные на рис. 7, оказывают гораздо меньшее мешающее действие, поскольку расположены на расстоянии от начала координат, и их можно не учитывать.

Постфильтр является обязательным элементом системы, в которой используется дискретизация, поскольку с его помощью последовательность отсчетов в виде δ -функций преобразуется в реальную сигнальную функцию. В обычных случаях постфильтр (как и предфильтр) имеет импульсную характеристику $G_2(x, y)$ в виде двумерного интерполятора нулевого порядка. Такой постфильтр соответствует процессу воспроизведения изображения на матричном видеомониторе, где каждый пиксел отображается в виде прямоугольной площадки с фиксированной яркостью.

ЧКХ предфильтра $K_1(f_x, f_y)$ и постфильтра $K_2(f_x, f_y)$ имеют вид

$$K_{1,2}(f_x, f_y) = \sin c(\pi f_x / n) \cdot \sin c(\pi f_y / n). \quad (11)$$

На рис. 8 представлена двумерная ЧКХ предфильтра $K_1(f_x, f_y)$, с которой совпадает ЧКХ постфильтра.

На рис. 9 ЧКХ пред- и постфильтра представлена в виде линий уровня (все графические результаты получены с помощью Mathcad 15).

Как следует из рис. 9, в диагональных направлениях двумерная ЧКХ предфильтра ослабляется медленнее – по диагонали уровень 0,2 достигается при значении частоты, на которой по осям f_x и f_y он со-

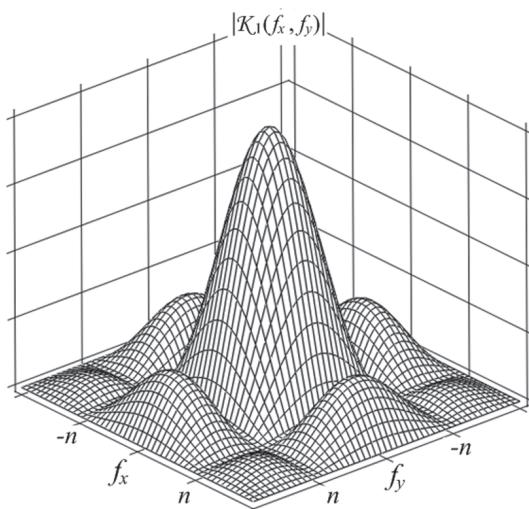


Рис. 8. Модуль ЧКХ пред- и постфильтра

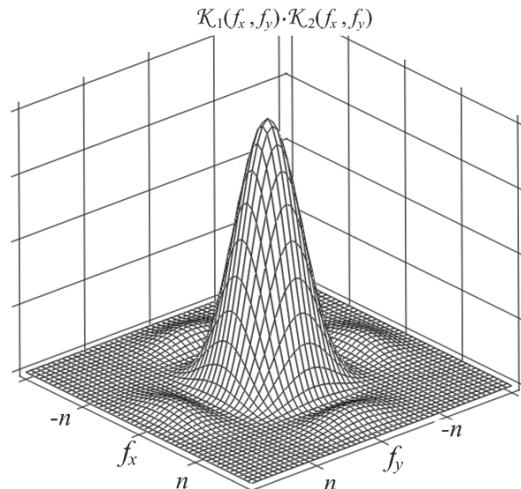


Рис. 10. ЧКХ, выражающая совместное действие пред- и постфильтра

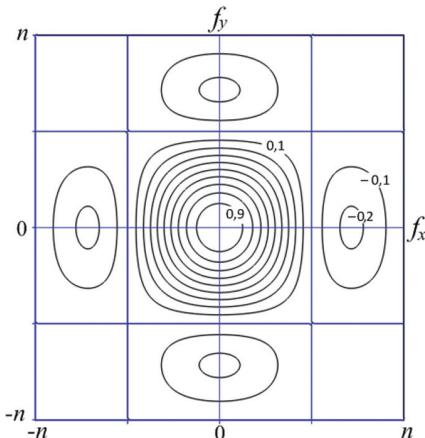


Рис. 9. Линии уровня ЧКХ пред- и постфильтра

ставляет 0,1. Однако это не приводит к заметному усилению нелинейных искажений при дискретизации, поскольку мешающие «диагональные» побочные спектры отстоят от начала координат по частоте не на n , а на (где n – число строк).

В результате основная (полезная) составляющая спектра выходного изображения, учитывающая только линейные искажения спектра (вызываемые пред- и постфильтрацией) выражается как

$$B_{O2}(f_x, f_y) = K_1(f_x, f_y) K_2(f_x, f_y) B(f_x, f_y). \quad (12)$$

На рис. 10 представлена ЧКХ, получающаяся в результате совместного действия пред- и постфильтра на основной составляющей спектра.

На рис. 11 показаны линии уровня (почти круговые) этой ЧКХ только в ее центральной области, поскольку в остальных областях относительные уровни не превышают 0,1 и на рисунке не отображаются.

Понятно, что совместное действие двух фильтров вызывает более существенное ослабление высокочастотных составляющих спектра исходного изображения, т. е. более высокие линейные искажения. С другой стороны, действие этих фильтров обеспечи-

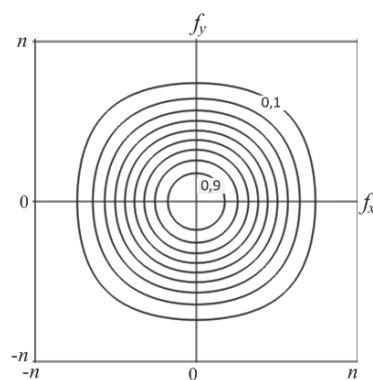


Рис. 11. Линии уровня совместной ЧКХ пред- и постфильтра

вает ослабление мешающих побочных составляющих (10), возникающих в результате дискретизации изображения светочувствительной матрицей. Эти четыре мешающие составляющие с учетом постфильтрации (11) выражаются на выходе как

$$\begin{aligned} B_{\Pi 2}(f_x, f_y) &= K_2(f_x, f_y) \times \\ &\left[B_1(f_x - n, f_y) + B_1(f_x + n, f_y) + \right. \\ &\left. + B_1(f_x, f_y - n) + B_1(f_x, f_y + n) \right]. \end{aligned} \quad (13)$$

Выражения (12) и (13) позволяют получить количественные оценки линейных и нелинейных искажений спектра изображения в процессе его дискретизации светочувствительной матрицей.

Выполнение обратного преобразования Фурье спектров (12) и (13) позволяет получить изображения основной $B_{O2}(x, y)$ и мешающих $B_{\Pi 2}(x, y)$ составляющих изображения, которые в сумме образуют полное выходное изображение, пригодное также и для визуальной оценки качества.

Полученные выражения позволяют также оценивать искажающее действие всего оптического тракта, включающего слой атмосферы и ИК-объектив. Для

этого в выражении (12) достаточно заменить ЧКХ предфильтра $K_1(f_x, f_y)$ на произведение ЧКХ предфильтра $K_1(f_x, f_y)$ и ЧКХ оптического тракта $K_{\text{опт}}(f_x, f_y)$, определяемого выражением (3). Учет действия оптического тракта приводит, соответственно, к возрастанию линейных и уменьшению нелинейных искажений регистрируемого изображения.

УЧЕТ ДЕЙСТВИЯ ПРОЦЕССОРА ПОСТОБРАБОТКИ ИЗОБРАЖЕНИЯ (БЛОКИ 5-10)

Характеристики постфильтра Φ_2 (блок 5) рассмотрены в предыдущем разделе. В [7, 8] описаны возможности совершенствования постфильтра, обеспечивающие снижение искажений, вызываемых дискретизацией.

АРУ и регулировка контраста (блоки 6 и 7) не оказывают воздействия на спектр изображения и не вызывают специфических искажений.

Система шумоподавления (блоки 8-10) обычно содержит пару фильтров Φ_3 и Φ_4 , которые разделяют спектр изображения на низкочастотную (НЧ) и высокочастотную (ВЧ) части. Обычно исходят из предположения, что шум проявляется как ВЧ-составляющие спектра небольшого размаха. Поэтому для его подавления используют двусторонний ограничитель сигнала по минимуму (блок 10) на выходе фильтра высоких частот (блок 9). Практически уровень ограничения выбирают 5–10% от максимально-го размаха ВЧ-составляющих в спектре. При таком уровне ограничения происходит также подавление ВЧ-составляющих полезного сигнала малого размаха, которое оказывает незначительное (и, как правило, незаметное) воздействие на четкость получаемого изображения. Выходное изображение образуется на выходе сумматора НЧ- и ВЧ-составляющих (блок 11).

При выборе пары фильтров следует отдавать предпочтение фильтрам, ЧКХ которых в сумме дают постоянную величину. Тогда для сигналов выше установленного порога ограничения шумоподавление не будет вносить искажений в спектр сигнала. ВЧ-составляющие изображения ниже порога ограничения будут также подавлены.

Приемлемый уровень ограничения ВЧ-составляющих, который обеспечивает требуемое шумоподавление при допустимых искажениях ВЧ-составляющих, может быть установлен путем моделирования с использованием набора входных тест-изображений.

Одним из источников ВЧ-помех на изображении является неоднородность чувствительности ИК-матриц (т. е. «электронный портрет» камеры). Способ выявления электронного портрета описан в [9]

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье описаны результаты работ по моделированию процесса формирования изображения оптико-электронными системами видеонаблюдения ИК-диапазона. Получены математические выражения, описывающие действие основных блоков тракта формирования выходного изображения и позволяющие анализировать возникающие искажения. При ограниченных возможностях проведения натурных экспериментов это создает основу для обоснования требований к перспективным ИК-системам видеонаблюдения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Naoyoshi Nameda. Fog modulation transfer function and signal lighting /— Lighting Research and Technology. — 1992. — V. 24, № 2. — P. 103–106.
2. Смирнов В.А. Теория и метод решения задач о переносе оптического изображения в рассеянных средах / В.А. Смирнов – Вопросы радиоэлектронники, серия Техника телевидения, 1965 – вып. 6. – С. 109–124.
3. Сорока Е.З., Филатов В.С.. Оптические частотно-контрастные характеристики атмосферы / Цифровая обработка сигналов – 2019 – № 3. – С. 67–72.
4. Лапо Л.М., Созв И. Е., Сокольский М. Н. Светосильные объективы для тепловизионных приборов / Оптический журнал – 2009 – т. 76, № 10 – С. 5–10.
5. Ульянова Е.О., Алдохин П.А. ИК-объективы для широкоформатных охлаждаемых матричных фотоприемных устройств диапазонов 3–5 мкм и 8–12 мкм. Электронный ресурс: cyberleninka.ru/article/v/ik-obektivy-dlya-shirokoformatnyh-ohlazhdemyh-matrichnyh-fotopriemnyh-ustroystv-diapazonov-3-5-mkm-i-8-12-mkm.
6. Игнатьев Н.К. Дискретизация и ее приложения. – М.: Связь, 1980. – 284 с.
7. Жигов Г.А., Зеленин С.А., Сорока Е.З. Филатов В.С. Метод постобработки цифрового изображения для уменьшения искажений дискретизации в ТВ-камере. – Техника средств связи. Серия: Техника телевидения, 2017. – С. 81–92.
8. Сорока Е.З. К вопросу о влиянии светочувствительной матрицы на качество изображения. – Цифровая обработка сигналов, 2017 – № 3. – С. 74–77.
9. Зеленин С.А., Сорока Е.З. Устройство выявления электронного портрета тепловизионной камеры. – Патент РФ № 2682012. № 2018116773/08. Приоритет 04.05.2018. Зарегистрир. 14.03.2019.

Сорока Евгений Зиновьевич,
к.т.н., с.н.с., главный научный сотрудник ЗАО
«МНИТИ»

Филатов Владимир Сергеевич,
к.т.н., старший научный сотрудник ЗАО «МНИТИ»



Смагин М. С., к.т.н., доц.

РАЗРАБОТКА ПОЖАРНЫХ ТЕПЛОВИЗОРОВ КАК ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ИМПОРТОЗАМЕЩЕНИЯ И ГРАЖДАНСКОЙ АДАПТАЦИИ ВОЕННЫХ РАЗРАБОТОК

Статья посвящена разработке пожарных тепловизоров как одному из перспективных направлений импортозамещения и конверсии военных разработок для гражданских нужд. В статье приведены сведения о технических характеристиках серийно выпускаемых пожарных тепловизоров, делаются выводы о техническом облике устройств, предлагаемых к разработке. В заключении отмечается, что благоприятный период для организации подобной разработки ограничен по времени, и для достижение максимального экономического и практического эффекта её следует начать в ближайшее время.

Ключевые слова: импортозамещение, конверсия, пожарно-спасательная техника, тепловидение, тепловизоры

Наступивший 2020 год является рубежным для государственной программы вооружения 2011–2020 годов. Затрачены значительные государственные средства, получены впечатляющие результаты. Вместе с тем необходимо заметить, что помимо основной задачи, обновления вооружений и военной техники Российской армии, у Государственной программы есть и не менее важная, – формирование военно-промышленного комплекса как «локомотива» развития экономики в целом.

В связи с этим и со стороны властей предержащих и со стороны общественности есть настоятельный запрос на трансформацию военных разработок для гражданских нужд. Кроме того, текущая общественно-политическая ситуация объективно требует повышения активности отечественных производителей в сегменте высокотехнологичной аппаратуры, результатом которой должно быть снижение зависимости российских государственных и частных организаций от импорта такой аппаратуры из-за рубежа.

Одним из направлений решения описанных задач является разработка, постановка на производство

и вывод на коммерческий рынок отечественных пожарно-спасательных тепловизоров. Предлагаемые к разработке пожарно-спасательные тепловизоры представляют собой портативные персональные тепловизионные устройства, предназначенные для использования бойцами пожарно-спасательных подразделений при работе в очаге ЧС в целях поиска очагов возгорания, обнаружения пострадавших и ориентации в условиях задымления. Их использование позволяет повысить эффективность действий пожарно-спасательных подразделений при ликвидации пожаров и поиске пострадавших, а также существенно снизить уровень травматизма среди самих пожарных и спасателей.

Тепловизионные устройства широко используются в военной технике и распространены во всех видах вооружённых сил. Отечественными разработчиками накоплен значительный опыт разработки и постановки на производство данной аппаратуры, поэтому использование этих знаний и опыта, а также существующего научно-технического задела позволяет отечественным разработчикам на равных конкурировать с зарубежными коллегами на российском рынке. На сегодняшний день безусловным лидером российского рынка пожарно-спасательных тепловизоров является компания FLIR Systems (США) представлена также продукция компаний Drägerwerk AG (ФРГ), Avon Protection (Великобритания), MSA (США) и Bullard (ФРГ). Кроме того, на мировом рынке данной техники работает такой гигант, как фирма 3M (США).

Из отечественных разработок известен только пожарный тепловизор «Чеглок» разработки АО «ЦНИИ «Циклон». Однако в настоящее время на открытом рынке он недоступен, а его характеристики, известные из открытых источников, не являются конкурентоспособными.

Технические характеристики продукции всех упомянутых фирм представлены в табл. 1 [1–7].

Таблица 1. Характеристики продукции

Модель	Диапазон наблюдаемых температур, °C	Разрешение матрицы, пикселей	Время работы от одной зарядки, ч	Масса, кг	Диапазон рабочих температур, °C	Тип аккумулятора	Цена изготавителя
Bullard							
NXT	0 – +600	240×180, 320×240	7–8	1,09	–29 – +85	Li-ion	8 677 \$
QXT	0 – +600	240×180 320×240	7–8	1,09	–29 – +85	Li-ion	7 778 \$
LDX	0 – +600	240×180 320×240	2	0,9	–29 – +85	NiMH	6 885 \$
T3X	0 – +600	320×240	5	1,1	–29 – +85	NiMH	6 885 \$
T4X	0 – +600	320×240	4,5	1,4	–29 – +85	NiMH	9 200 \$
EcoX	0 – +600	240×180	2	0,86	–29 – +85	NiMH	3 995 \$
Mine Safety Appliances							
6000 Basic	–40 – +600	320×240	3,5	1,2	–30 – +80	Li-ion	6 899 \$
6000 Plus	–40 – +600	320×240	3,5	1,2	–30 – +80	Li-ion	6 999 \$
6000 Extreme	–40 – +600	320×240	3,5	1,2	–30 – +80	Li-ion	7 995 \$
FLIR Systems							
FLIR K1		160×120	5,5	0,41	–30 – +55	Li-ion	599 \$
FLIR K2		160×120	4	0,7	–20 – +55	Li-ion	1 395 \$
FLIR K33		240×180	4	1,1	–20 – +85	Li-ion	3 245 \$
FLIR K45		240×180	3,5	1,1	–20 – +85	Li-ion	4 495 \$
FLIR K53		320×240	4	1,1	–20 – +85	Li-ion	5 345 \$
FLIR K55		320×240	3,5	1,1	–20 – +85	Li-ion	5 995 \$
FLIR K65		320×240	3,5	1,1	–20 – +85	Li-ion	6 995 \$
Drägerwerk AG							
UCF 6000		160×120	4	1,34	–40 – +55	Li-ion	9 790 \$
UCF 7000		160×120	4	1,4	–40 – +85	Li-ion	11 404 \$
UCF 9000		384×288	4	1,4	–40 – +85	Li-ion	14 516 \$
Avon Protection							
MI-TIC E		320×240	2	0,765	–20 – +85	Li-ion	5 298 \$
MI-TIC E L		320×240	2	0,865	–20 – +85	Li-ion	5 390
MI-TIC S		320×240	2	0,870	–20 – +85	Li-ion	7 521 \$
MI-TIC 320		320×240	2	0,755	–20 – +85	Li-ion	5 298 \$
Seek Thermal							
Reveal FIRE PRO		320×240	4	0,177	–20 – +85	Li-ion	799 \$
ЦНИИ «Циклон»							
Чеглок		160×120	н/д	н/д	–20 – +65	н/д	н/д

Согласно наиболее свежему (2016 год) из доступных в открытых источниках маркетинговому исследованию фирмы Discovery Research Group, объём российского рынка тепловизоров составляет порядка 6 000 штук, из них 5 000 штук ввозятся из-за рубежа.

По данным зарубежных маркетинговых агентств, доля рынка пожарных тепловизоров в общем объёме рынка тепловизионной техники составляет порядка 5–6 %. Предполагая аналогичное соотношение для России, можно сказать, что доля пожарных теплови-

зоров в объеме продаваемых тепловизоров в 2016 году составляет около 300 единиц.

При сохранении указанной тенденции, а также учитывая тот факт, что гарантийный срок работы тепловизоров составляет от 1 до 3 лет (в зависимости от производителя), можно оценочно сказать, что в настоящее время парк пожарных тепловизоров в России составляет не более 1 000 штук.

Между тем, по оценке пожарных специалистов, опрошенных в ходе подготовки настоящей статьи, суммарная потребность пожарно-спасательных частей Государственной противопожарной службы РФ в тепловизорах составляет порядка 3 000 штук. Таким образом, можно констатировать, что имеется большая потребность в подобного рода технике, которая лишь весьма частично закрывается за счёт импорта.

Пожарные тепловизоры, доступные в настоящее время на рынке можно условно разбить на три группы с точки зрения близости их технических и ценовых характеристик. К первой группе относятся устройства нижнего ценового диапазона (порядка 1 500 долларов США за штуку) с минимальными характеристиками. Ко второй группе относятся устройства среднего, как в ценовом (порядка 4 500 долларов США за штуку), так и в техническом плане уровня. Третья группа, соответственно, это наиболее технически совершенные и дорогие (порядка 10 000 долларов США за штуку) устройства.

Основными структурными элементами пожарного тепловизора являются: фокусирующая оптика, тепловизионная матрица, аппаратура цифровой обработки, система отображения, аккумулятор и специализированный корпус, обеспечивающий защиту от влаги и ударных воздействий. Производство всех указанных структурных элементов в настоящее время может быть организовано в России.

Единственным исключением является тепловизионная матрица. По состоянию на сегодняшний день разработку можно проводить либо с использованием тепловизионных матриц зарубежного производства, либо с использованием тепловизионных матриц отечественной разработки (например неохлаждаемые матрицы разработки ИФП СО РАН [9] или АО «НПП «Исток» им. Шокина» [10]) после постановки их на серийное производство. Причем здесь важно, что в настоящее время производство неохлаждаемых тепловизионных матриц освоено не только в «проблемных» с политической точки зрения западноевропейских странах, но и в странах Юго-восточной Азии, в частности Китае и Южной Корее.

Следует отметить, что второй вариант дороже и затратнее по времени, зато даёт возможность занять дополнительные рынки, такие как тепловизоры военного, строительного, охотничьего и т. д. назначения, где также могут быть использованы указанные матрицы.

Проведённый технический анализ показал, что в настоящее время, при использовании тепловизионных матриц зарубежного производства возможна разработка отечественного пожарного тепловизора средних технических характеристик (разрешение матрицы 320×240, время работы 4 часа, масса до полутора килограмм, диапазон наблюдаемых температур от 0 до +500 °C) с расчётной розничной ценой менее 4 500 \$ (280 тыс. рублей), что позволит конкурировать с зарубежными моделями.

Необходимо также отметить, что в настоящее время имеется большой интерес к указанной технике со стороны МЧС вообще и Государственной противопожарной службы в частности. Об этом свидетельствует в частности принятый с 1 января 2020 года ГОСТ Р 58446-2019 «Техника пожарная. Комплект снаряжения для оснащения личного состава звена газо-дымозащитной службы. Общие технические требования. Методы испытаний», а также находящийся на данный момент в стадии разработки ГОСТ «Техника пожарная. Тепловизоры ручные. Общие технические требования. Методы испытаний» [11].

Вместе с тем следует отметить, что существующее на сегодняшний день для отечественных разработчиков «окно возможностей» не будет существовать всегда и постепенно начинает закрываться. Тому есть несколько причин.

Во-первых, современные характеристики пожарных тепловизоров являются предельными с точки зрения потребностей пользователей, и неостановимый технический прогресс будет делать и делает их с каждым годом всё дешевле. В качестве «первой ласточки» такого процесса выступает представленный в 2019 году тепловизор FLIR K1, продаваемый по вдвое более низкой цене, чем схожие с ним по характеристикам аппараты других фирм.

Во-вторых, разработки данной техники активно ведутся в Китае. В частности фирма Beijing Topsky Century Holding несколько лет назад объявила о выпуске пожарных тепловизоров Нгух-я и UTi100. Их технические характеристики весьма посредственны, и в настоящее время производитель не занимается их активным продвижением на рынок. Однако, все мы прекрасно знаем, если разработчики из Юго-восточной Азии взялись за тему, то они её не бросят и конкурировать с ними будет крайне тяжело.

ЛИТЕРАТУРА

1. Fire service [Электронный ресурс] – URL: <https://eu.bullard.com/products/thermal-imaging/fire-service> (дата обр. 31.01.2020)
2. Тепловизоры | MSA - The Safety Company | Russian Federation [Электронный ресурс] – URL: <https://ru.mssafetys.com/Тепловизоры/Тепловизоры/c/10501> (дата обр. 31.01.2020)

3. Firefighting Cameras | FLIR Public Safety | FLIR Systems [Электронный ресурс] – URL: <https://www.flir.com/browse/public-safety/firefighting-cameras/> (дата обр. 31.01.2020)
4. Тепловизионные камеры [Электронный ресурс] – URL: https://www.draeger.com/_ru_ru/Fire-Services/Productselector/Thermal-Imaging-Cameras (дата обр. 31.01.2020)
5. argus Range [Электронный ресурс] – URL: <https://www.avon-protection.com/products/argus-range.htm> (дата обр. 31.01.2020)
6. Durable Handheld Thermal Cameras - Seek Thermal | Affordable Infrared Thermal Imaging Cameras [Электронный ресурс] – URL: <https://www.thermal.com/reveal-series.html> (дата обр. 31.01.2020)
7. Портативная тепловизионная камера спасателя «Чеглок» [Электронный ресурс] – URL: <http://www.bnti.ru/des.asp?itm=5738&tbl=10.01.02>. (дата обр. 31.01.2020)
8. Оборудование [Электронный ресурс] – URL: https://www.isp.nsc.ru/razrabotki/_oborudovanie (дата обр. 31.01.2020)
9. В России начнут производить матрицы для танковых тепловизоров [Электронный ресурс] – URL: <https://nplus1.ru/news/2016/07/27/matrix> (дата обр. 31.01.2020)
10. Первая редакция ГОСТ «Техника пожарная. Тепловизоры ручные. Общие технические требования. Методы испытаний» | ТК 274 «Пожарная безопасность» [Электронный ресурс] – URL: <http://tk274.ru/?p=1538>

*Смагин Михаил Сергеевич,
к.т.н., доц., начальник отдела ЗАО «МНИТИ»*



Зубарев Ю.Б., д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН

ИЗЛУЧЕНИЯ УСТРОЙСТВ МОБИЛЬНОЙ СВЯЗИ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ЗДОРОВЬЕ ЧЕЛОВЕКА

Рост числа пользователей мобильными телефонами повышает вероятность проявления влияния электромагнитного поля на здоровье человека в масштабах населения страны. В ряде публикаций обоснованы практические решения для снижения персонального риска здоровью при использовании мобильных телефонов и смартфонов. Разработаны элементарные гигиенические принципы и порядок пользования мобильными телефонами. Предложены практические рекомендации, которые необходимо доводить до каждого пользователя, что позволит делать осознанный выбор режима использования мобильного телефона.

Ключевые слова: излучение, здоровье, мобильная связь.

Сотовая связь за четверть века охватила все население Земли: по данным Международного телекоммуникационного союза и Всемирного банка, в 2018 году в мире было более 7,6 миллиарда уникальных подписчиков сотовой связи. Россия в числе лидеров «мобилизации» – более чем 229 миллионов пользователей или 157 телефонов на каждые 100 человек населения, тогда как доступ к проводной телефонии имеет только 31,9 миллиона россиян [1]. Если в первые годы развития подвижной связи её клиентами было преимущественно взрослое население, то сейчас мобильной связью пользуются дети, подростки и молодежь, которые составляют треть населения Российской Федерации.

В письме Президента Российской академии наук академика А.М. Сергеева участникам Всероссийской конференции «Актуальные вопросы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений», состоявшейся в г. Москве 12–13 ноября 2019 г., подчеркнуто, что «бурное внедрение в современную жизнь высокотехнологичных цифровых технологий поставило новые задачи перед мировым научным сообществом в части разработки разумных и реализуемых регламентов безопасности, сберегающих здоровье пользователей» [2]. Эта конференция отметила две важнейшие проблемы. Во-первых, накапливается большое количество данных о потенциально вредных эффектах электромагнитного поля сотовой связи, которые еще не имеют отражения в регламентах безопасности, что не позволяет гарантировать отсутствие отдаленных последствий облучения при пользовании любым из-

лучающим гаджетом и в первую очередь мобильными беспроводными устройствами. Вторая проблема заключается в том, что скорость развития техники связи очень быстро формирует условия электромагнитной экспозиции, что не позволяет опережающим образом разрабатывать регламенты безопасности до массового внедрения технологий связи [3].

В основе всех систем мобильной связи лежит параметр качества передаваемого сигнала, который обеспечивается при большей мощности электромагнитного излучения, в силу этого, в руках каждого пользователя сотового телефона находится источник физического фактора, являющегося вредным и подлежащим ограничению. Однако подавляющая часть пользователей не представляет, что в основе всех мобильных устройств лежит принцип использования электромагнитного поля, как излучается это поле в руках пользователей гаджетами, как оно поглощается тканями головного мозга пользователя. Особенно трудно ожидать такого понимания от детей и подростков, голова которых поглощает большее количество электромагнитной энергии, чем у взрослого человека, и их организм более чувствителен к такого рода воздействию [4, 5, 6].

В целях предупреждения заболеваний, обусловленных использованием новых массовых технологий, ряд стран мира использует предупредительный подход для ограничения контакта детей с источниками электромагнитного поля.

Во втором полугодии 2019 года наиболее заметны решения правительства Франции и федеральной канцелярии Швейцарии по национальному референдуму об изменениях в законодательство «За заботу о здоровье и энергоэффективную мобильную связь». Текст законодательных изменений в Швейцарии направлен на усиление защиты здоровья населения от электромагнитных загрязнений, вызванных развитием беспроводных мобильных систем. Этот документ предлагает ввести четкое разделение между внутренним и наружным использованием мобильной телефонии. Это означает, что мощность передатчиков должна быть снижена с целью ослабления её влияния на жилые дома. В домах передача сигналов должна осуществляться только с применением оптоволоконных или кабельных систем без применения электромагнитных полей. Отдельным пунктом на

общественном транспорте вводятся зоны, в которых запрещено использование электромагнитных излучающих устройств, т. е. мобильных телефонов. Если телекоммуникационные компании планируют разработку и создание новых устройств, излучающих электромагнитную энергию или увеличение мощности существующих, они должны получить письменное согласие каждого жителя данного района в радиусе 400 метров от объекта. Помещения общественных зданий, таких как детские сады, школы, высшие учебные заведения, здания муниципальных органов власти, больницы, учреждения престарелых, учреждения для инвалидов и медико-социальные учреждения, должны быть расположены таким образом, чтобы они не подвергались электромагнитным излучениям [7].

Правительство Франции стремится оградить население от воздействия электромагнитного излучения некоторых мобильных телефонов. Национальное агентство по санитарной безопасности Франции (ANSES) в опубликованном сообщении от 21 октября 2019 г. обращает внимание на последствия для здоровья человека, связанных с электромагнитным излучением мобильных телефонов [8]. В сообщении указывается на серьезную и непосредственную опасность для человека, а также приводятся результаты научных исследований, которые не позволяют исключить возникновение биологических эффектов у людей в пределах определенных пороговых значений. Министры экологии, солидарности и здравоохранения, а также экономики и финансов официально заявили, что Франция будет просить Европейскую комиссию усилить требования к производителям новых мобильных телефонов, поступающих на рынок. Правительство потребует провести более строгую сертификацию телефонов по их воздействию на организм человека. Правительство Франции собирается встретиться с ведущими производителями мобильных телефонов с целью добровольного обновления программного обеспечения их моделей, выпускаемых на рынок. Эти телефоны будут выпущены по новым стандартам, имеющим меньшие уровни излучения, мощности. Правительство Франции напоминает пользователям рекомендации при использовании мобильных телефонов: при общении отдавать предпочтение текстовому набору; использовать телефон в хороших зонах приема сигнала; избегать пользования телефоном в общественном транспорте; при покупке выбирать мобильные телефоны с минимальным уровнем излучения [9].

В сентябре этого года в Москве состоялся Второй Международный форум онкологии. Согласно приведенным данным, в России онкология ежегодно диагностируется у более 600 тыс. человек и примерно половина из них – люди трудоспособного возраста.

Министр здравоохранения России В.И. Скворцова обратила внимание на то, что снижение смертности от онкологических заболеваний – это одно из первоочередных государственных задач, к решению которой должны быть привлечены не только медицинское сообщество, но и органы власти путем привлечения научно-исследовательских институтов государства по выявлению причин заболеваемости раком. Прирост заболеваемости взрослого населения России злокачественными новообразованиями головного мозга ЦНС за 2007–2017 гг. составлял 37,88 %, а в августе 2019 года Росстат отметил резкий рост онкозаболеваемости в Российской Федерации за последние 10 лет, особенно у подростков [10, 11].

Следует заметить, что Международное агентство по исследованию рака (МАИР) Всемирной организации здравоохранения в 2011 г. классифицировало электромагнитное поле радиочастотного диапазона мобильных телефонов как канцероген класса 2B. Основанием для такого решения стали, прежде всего, данные эпидемиологии о росте злокачественных опухолей у пользователей сотовых телефонов [12]. В первом квартале 2019 года МАИР отнесло этот фактор к категории наивысших приоритетов для повторного рассмотрения в текущем плановом периоде (2020–2024 гг.) ввиду значительного количества научных публикаций, устанавливающих связь ЭМП и злокачественных опухолей, а также в связи с обоснованием работоспособной гипотезы о механизме возникновения злокачественных опухолей при облучении ЭМП мобильных телефонов [13].

Российский национальный комитет по защите от неионизирующих излучений с 2001 года выпустил серию рекомендаций по разумному ограничению использования сотовых телефонов [4]. Несмотря на то что Санитарные правила с 2003 года рекомендуют ограничения по использованию сотовой связи детьми и беременными, только в этом году в России впервые на государственном уровне приняты практические рекомендации по режиму использования детьми телефонов мобильной связи [14, 15].

По нашему мнению, для снижения риска вреда здоровью пользователи обязательно должны получать гарантированный минимум предупредительной информации, включающей сведения об источнике электромагнитного поля, рекомендации по продолжительности использования и методам контроля энергетической нагрузки, сведения об оптимальном расположении абонентского терминала при разговоре и при хранении. И это должно быть закреплено на законодательном уровне.

Безусловно, практическим решением сократить интенсивность действующего электромагнитного поля является использование гарнитуры (наушников и микрофона), позволяющей убрать источник излу-

чения от головы пользователя. Как известно, облучение мозга снижается обратно пропорционально квадрату расстояния от головы до телефона. Допустимо использование как проводной, так и беспроводной гарнитур, а также громкоговорящей связи.

Каждый пользователь мобильной связи должен получить следующую информацию:

- женщинам в период беременности, детям и подросткам до 18 лет ограничить использование устройств подвижной связи, создающих электромагнитное поле;
- при использовании мобильного телефона для общения отдавать предпочтение текстовому набору;
- использовать мобильный телефон для разговора (передача голосовых данных) в зонах качественного приема сигнала;
- избегать пользования мобильным телефоном для разговора в общественном транспорте;
- при покупке выбирать мобильные телефоны с минимальным уровнем излучения (SAR);
- ограничить время разговоров по мобильному телефону без использования гарнитуры (наушников).

Источники электромагнитного поля и помещения, предназначенные для продолжительного пребывания детей, подростков и беременных должны иметь предупредительную или ограничительную маркировку.

На наш взгляд, оптимизация использования мобильной связи и беспроводных устройств может существенно сократить энергетические потери, улучшить экологическую обстановку и сберегать здоровье россиян. Для этого необходимо провести ряд мероприятий, позволяющих снизить уровень электромагнитного поля излучающих устройств. Необходимо программным образом снизить излучаемую мощность мобильных телефонов, предполагая, что эти телефоны будут работать только на открытом пространстве городов РФ, а не в автобусах и жилых домах. Мировая практика развитых стран подсказывает, что мобильные системы Wi-Fi в общественном транспорте, вагонах метро не являются востребованной услугой, а стимулирование использования электронной техники в условиях транспорта дает избыточную нагрузку на орган зрения. Поэтому, на наш взгляд, сохранить системы Wi-Fi необходимо только в вестибюлях метро при пониженном уровне излучения. Еще в 2016 году Всемирный банк отмечал, что мобильная связь и цифровые технологии не могут быть самоцелью, их стремительное распространение не дает автоматического экономического роста [16]. В этой связи мы могли бы пожелать Министерству цифрового развития, связи и массовых коммуникаций уделить внимание развитию проводных средств телефонии, чтобы каждая семья в городах России имела возможность установить в квартире проводной телефон, обеспечить доведение интернета, городских

телефонов до квартир населения без применения беспроводных средств связи.

В нашей стране допустимые уровни электромагнитного поля мобильных телефонов для населения принципиально зависят, в основном, от данных, полученных в последней трети XX века, которые показали свою надежность в условиях тотального облучения электромагнитным полем дальней зоны, однако слабо обоснованы для условий облучения головного мозга, щитовидной железы электромагнитным полем ближней зоны антенны [4]. Современные научные данные не позволяют гарантировать отсутствие отдаленных последствий облучения, особенно это касается детей и подростков, голова которых поглощает большее количество электромагнитной энергии, чем у взрослого человека.

Совершенно правильно поступила Госдума Российской Федерации, что подняла вопрос об изъятии устройств мобильной связи Wi-Fi из школ и перехода на проводные технологии. Уже давно доказано, что мозг ребенка поглощает электромагнитную энергию в два раза больше, чем мозг взрослого человека [5]. В августе 2019 года за подписью двух руководителей Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека и Федеральной службы по надзору в сфере образования и науки были утверждены Методические рекомендации об использовании устройств мобильной связи в общеобразовательных организациях [15]. Исследования, проведенные в работах российских и мировых ученых, выявили негативные реакции у детей, использующих мобильные телефоны, что хорошо изложено в Приложении 1 к документу [15].

Как обстоят дела по использованию систем мобильной связи Wi-Fi в ряде стран мира. В Австралии, Бельгии, Великобритании, Канаде, Малайзии, Нигерии, Франции, Уганде по результатам исследований выработаны рекомендации по режиму использования телефонов мобильной связи детьми. Так, во Франции в 2015 году был принят закон о запрете Wi-Fi в детских садах. Этот закон также включает в себя пункт, в котором сказано, что Wi-Fi должен обязательно быть отключенными в начальных школах. Все соединения с интернетом в школах должны быть проводными. Ограничения во Франции распространяются не только на детей: уже в десятках библиотек и университетах Парижа отключены и демонтированы все сети беспроводного подключения, которые даже запрещены в ряде госучреждений. С 2019 года запрещено пользоваться мобильными телефонами в школах провинции Онтарио (Канада) и в штате Новый Южный Уэльс (Австралия). Уже было запрещено пользоваться мобильными телефонами с 2012 года в Малайзии и Нигерии, с 2013 года – в Уганде.

Два академика РАН, доктора медицинских наук Ильин Л.А. и Шандала М.Г. уже в 2013 году в преди-

словии к книге «Сотовая связь и здоровье» [18] предупредили, что наступит такой период в Российской Федерации, когда будет массовое заболевание всего населения России и в этом случае лечение ляжет полностью на бюджет государства, а государству будет не под силу обеспечить лечение. А над этим прогнозом двух академиков следует серьезно задуматься, пока не поздно.

Что касается оборудования Wi-Fi, то можно сказать, что в Российской Федерации имеется стандарт на оборудование с уровнем излучения 2,5 мВт, но, к сожалению, ни одно промышленное предприятие его не производит. Поэтому операторы связи используют оборудование Wi-Fi европейского производства. По европейскому стандарту оборудование Wi-Fi излучает уровень сигнала 100 мВт.

Каждый пользователь мобильного телефона должен знать, что электромагнитное поле в малых количествах и малых временных интервалах используется в медицине, в частности в физиотерапии, принося пользу человеку, вылечивая тот или иной его орган. А у связистов, как уже отмечалось, используется другой параметр ЭМП, его мощность для создания и обеспечения качества передачи сигнала от мобильного телефона до базовой станции, что на практике оказывается вредным явлением для человека.

Приведем пример, М.Н. Задорнов. Он был человеком, активно занимающимся спортом, на руках ходил по полу квартиры, но ушел из жизни в 69 лет. М.Н. Задорнов имел дачу в Юрмале, где не было линейных сооружений. Поэтому поставить себе проводной телефон он не мог и воспользовался мобильным телефоном. А как человек обеспеченный, он выбрал тариф «говори, сколько хочешь», не думая о последствиях, а последствия наступили — рак головного мозга.

СТАТИСТИКА ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ РАКОМ МОЗГА В РОССИИ

В России первичные опухоли головного мозга регистрировались у 23 человек из 100 тыс. населения, что составляет для всей страны около 34 тыс. впервые выявленных случаев болезни в год. Об этом сообщил эксперт Российского общества клинических онкологов Григорий Кобяков: из 34 тыс. злокачественные опухоли составляли чуть более 30%, или от 9,5 до 10,5 тыс. новых случаев в год.

Всего в 2017 году врачи выполнили более 27 тыс. операций, связанных с опухолями центральной нервной системы. Кобяков отметил, что в последние годы значительно увеличилось количество аппаратов МРТ и спиральной компьютерной томографии, что позволило повысить надежность выявления заболеваний. Кобяков информировал, что самая проблемная опухоль головного мозга — это глиобластома, которая

появляется сразу в форме четвертой, последней, степени злокачественности и агрессивно распространяется.

В апреле главный внештатный онколог Минздрава, генеральный директор Национального медицинского исследовательского центра радиологии Андрей Каприн сообщил, что в России за последнее десятилетие выросло число больных раком. С 2008 по 2018 год прирост заболеваемости составил 23,7%. Всего на учете со злокачественными новообразованиями состоят 3,76 млн россиян.

Учитывая научные данные о вредном действии электромагнитного поля в определенных условиях, с одной стороны, и, с другой стороны, неотвратимость использования современных технологий, необходимо дать каждому пользователю минимально необходимую информацию о методах самостоятельной профилактики избыточного электромагнитного облучения, снижающих риск для здоровья. О необходимости профилактической работы говорит и академик РАН, доктор медицинских наук Г.Г. Онищенко: «информирование населения о возможном вреде абонентских терминалов радиосвязи для населения и, в первую очередь, для детей и беременных женщин» [18].

Исходя из опыта, информация до пользователя должна доводиться в максимально доступном и ясном виде, предлагаемые мероприятия должны быть реализуемы, а за пользователем должен оставаться выбор сознательного его поведения.

В первую очередь, необходимо довести информацию о том, что абонентский терминал (мобильный телефон, смартфон, планшет) являются источниками электромагнитного поля — внутри корпуса расположены антенны, обычно в нижней части, которые работают в режиме излучения.

ФАКТОР, ВЛИЯЮЩИЙ НА ЗАБОЛЕВАНИЕ РАКОМ

Время использования мобильного телефона является вторым важнейшим фактором, который должен быть доведен до пользователя. Согласно исследованиям, допустимая энергетическая нагрузка в 200 мкВт час/см² при использовании современного мобильного телефона достигается после часа его использования в режиме разговора. Это значение целесообразно использовать как предельно-допустимый уровень излучения при пользовании мобильным телефоном.

Встречаются случаи, когда молодые, особенно женщины, не понимая принципов работы мобильного телефона, разговаривают по нему до пяти часов за раз. Сотовые системы связи являются системами короткого пользования. Так, например: «Мама, я буду дома в 21 час». И это все. Как отмечают медицинские специалисты по мозгу, через пять минут в мозгу человека происходят отрицательные явления, при-

водящие к опухолям [19]. Проведенный мониторинг на территории России установил, что 85% населения страны разговаривают в пределах одного часа, а 15% говорят от 2,5 до 4 часов (явно бизнесмены). Поэтому уход людей из жизни, в первую очередь, возможно, будет происходить из числа бизнесменов. Этот процесс ухода из жизни уже начался. Пять месяцев назад ушел бизнесмен в возрасте 55 лет с диагнозом опухоль мозга. Такие случаи уже не единичны.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящее время не представляется возможным полностью оценить значимость многих радиобиологических исследований медико-биологических эффектов электромагнитного поля сотовой связи. Процесс исследований идет уже более 25 лет и усложнен непрерывно изменяющимися стандартами сотовой связи. Тем не менее накоплен массив научных данных, поэтому мы обязаны учесть прогноз о вероятных последствиях для здоровья, не ожидая развития массовой патологии. Вместе с тем, использование предложенных авторами рекомендаций поможет снизить потенциальные риски здоровью пользователей сотовой связи, избежать ситуационного стресса и уменьшить психофизиологическую нагрузку населения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Всемирный банк <https://data.worldbank.org/indicator/IT.CEL.SETS.P2?end=2018&start=2014&view=chart>
2. Письмо Президента РАН А.М. Сергеева, исх. № 10012-22 от 11.11.2019
3. Актуальные проблемы радиобиологии и гигиены неионизирующих излучений, Всероссийская конференция, 12–13 ноября 2019 года. Сборник докладов. – М., 2019. – 201с.
4. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье./ Изд. второе, дополненное. — М.: “Экономика”, 2016. – 560 с.
5. Григорьев Ю.Г., Хорсева Н.И. Мобильная связь и здоровье детей. Оценка опасности применения мобильной связи детьми и подростками. Рекомендации детям и родителям. — М.: Экономика, 2014. – 230 с.
6. Зубарев Ю.Б. Воздействие мобильного телефона сотовых систем связи на молодой организм – Электросвязь, 2019. – № 4. – С. 59–64.
7. Confédération suisse. Initiative populaire fédérale «Pour une téléphonie mobile respectueuse de la santé et économe en énergie» <https://www.admin.ch/opc/fr/federal-gazette/2019/6525.pdf>
8. Effets sanitaires éventuels liés aux valeurs élevées de débit d'absorption spécifique de téléphones mobiles portés près du corps. Anses Rapport d'expertise collective.

Téléphones mobiles portés près du corps et santé. Édition scientifique. Juillet 2019 – p. 128

9. Le Gouvernement agit pour limiter l'exposition aux émissions de certains téléphones mobiles et mieux informer le public. COMMUNIQUÉ DE PRESSE Paris, le 25 octobre https://solidarites-sante.gouv.fr/IMG/pdf/191025-_cp_anse.pdf

10. Злокачественные новообразования в России в 2017 году (заболеваемость и смертность) – М.: МНИОИ им. П.А. Герцена, филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2018. илл. – 250 с. ISBN 978-5-85502-243-8

11. Информационное агентство РБК. Росстат зафиксировал рекордное число больных раком детей в России. 08 августа 2019. <https://www.rbc.ru/rbcfreenews/5d4c6c0c9a7947bd06eb4b4f>

12. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans. Non-ionizing radiation, Part II: Radiofrequency electromagnetic fields / IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Published by the International Agency for Research on Cancer, 2011: Lyon, France.

13. Advisory Group recommendations on priorities for the IARC Monographs. The Lancet Oncology. April 2019. [http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045\(19\)30246-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1470-2045(19)30246-3)

14. Гигиенические требования к размещению и эксплуатации средств сухопутной подвижной радиосвязи. Санитарно-эпидемиологические правила и нормативы СанПиН 2.1.8/2.2.4.1190-03. – М.: ФЦ ГСЭН Минздрава России. 2003. – 27 с.

15. Методические рекомендации об использовании устройств мобильной связи в образовательных организациях.// Москва, Рособрнадзор, 2019 г. – 8 с.

16. World Development Report 2016: Digital Dividends. <https://www.worldbank.org/en/publication/wdr2016>.

17. Григорьев Ю.Г., Григорьев О.А. Сотовая связь и здоровье. – М.: ЗАО «Издательство “Экономика”», 2013. – 566 с.

18. «О санитарно-эпидемиологическом надзоре за объектами – источниками неионизирующих излучений». Письмо Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека от 27 июня 2008 г. N 01/6838-8-32.

19. Зубарев Ю.Б. Мобильные телефоны и здоровье пользователей. – М., «Электросвязь», изд. ООО «Инфо-электросвязь» 2018 г. – №11. – С. 57–63.

Зубарев Юрий Борисович,
д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН,
советник генерального директора ЗАО «МНИТИ»

БОРИС ИВАНОВИЧ ПРЕОБРАЖЕНСКИЙ – ОСНОВАТЕЛЬ И ПЕРВЫЙ ДИРЕКТОР МТФЛ-МНИТИ

В наступившем 2020 году ЗАО «МНИТИ» отмечает 70-летний юбилей своей работы. В истории нашего института немало славных страниц, однако любая история имеет своё начало, а начало истории МНИТИ неразрывно связано с основателем и первым директором Московской телевизионной филиал-лаборатории (МТФЛ, будущего МНИТИ) Борисом Ивановичем Преображенским.



Борис Иванович Преображенский, 1950 год

Борис Иванович Преображенский родился 3 марта 1901 года в селе Порецком в семье местного священника и сельской учительницы. Порецкое — уездное, довольно большое даже по современным меркам село, расположенное на территории современной Чувашии на берегу реки Суры. Сейчас в селе живёт около пяти тысяч человек и расположено два храма, — Храм Троицы Живоначальной и Церковь Петра и Павла.

В одной из этих церквей и служил отец Бориса Ивановича Преображенского. Причем, судя по фамилии, он был уже не первым священнослужителем в их роду. Всё дело в том, что паспортизация граждан России началась в середине XVIII века. До этого времени большинство россиян фамилий не имели и обходились родовыми прозвищами, которые давали старшим мужчинам в роду.

Однако выпускникам православных семинарий фамилии присваивались, причем выбор фамилии

определялся успеваемостью семинариста. Как правило фамилии давали в честь церковных праздников, причем более толковые семинаристы получали фамилии в честь более значимых праздников, а менее толковые — в честь менее значимых.

Так в России появились многочисленные Преображенские, Успенские, Воскресенские, Рождественские и многие другие. В эти подробности не стоило бы углубляться, если бы не та роль, которую они сыграли в судьбе Бориса Ивановича. Как мы увидим дальше, ему не раз и не два припоминали «неправильное» повское происхождение. И даже в анкете отдела кадров МТФЛ он о своём происхождении предпочёл не упоминать.

Хотя мы немного забегаем вперёд. В урочный срок родители отправили Бориса Ивановича учиться в гимназию. В то время гимназиями называли учебные заведения с гуманитарным уклоном, что отличало их от имевших технический уклон реальных училищ. Курс обучения составлял 8 лет, в список обязательных предметов входили латынь, древнегреческий, французский и немецкий языки, а также Закон Божий.

Борис Иванович отучился первые четыре класса возле дома, после чего вторую половину обучения провёл в только-только открывшейся гимназии в городе Ардатов. Эта гимназия была особенной, поскольку имела педагогический и технический уклон и предназначалась для подготовки учителей политехнических начальных школ.

Борис Иванович закончил её весной 1918 года. А в 1919 году, Борис Иванович связывает свою жизнь с армией. Сложно сказать, насколько это решение было продиктовано личными предпочтениями Бориса Ивановича, а насколько — общей обстановкой в стране, когда армия была единственным источником еды и работы.

Так или иначе, в октябре 1919 года он поступает работать делопроизводителем в военно-продовольственное бюро Казанского губпродкома. Там образованный и безусловно талантливый молодой человек быстро оказывается на виду у руководства, и в начале 1920 года его отправляют учиться на 4-е Казанские инженерные курсы комсостава.

Помимо общежития, курсанты получали 250 рублей содержания, красноармейский паек и полное обмундирование. Для поступления на подготови-

тельное отделение необходимо было умение грамотно читать, связно пересказывать прочитанное, знать четыре арифметических действия. Для поступающих на специальные отделения требовались знания в объеме 6–7 классов современной школы.

После годичной учёбы на курсах Бориса Ивановича переводят в тогда ещё Симбирск, на должность помощника, или, выражаясь современным языком, заместителя, комиссара 32 Симбирских пехотных курсов. А ещё через полгода переводят на должность помощника начальника пехотной школы по политической части, то есть комиссара.

В 1921–22 годах Бориса Ивановича вместе с подчинёнными ему курсантами привлекали для борьбы с бандами атамана Василия Серова, действовавшими в южном Заволжье.

Восстание Серова было подавлено только к концу лета 1922 года, но к этому времени военная карьера Бориса Ивановича Преображенского снова перешла в техническое русло.

С сентября 1922 года он начинает учёбу в Военной электротехнической академии РККА, ныне известной как Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Будённого.

В то время академия располагалась в Сергиевом Посаде, куда она была эвакуирована из Петрограда летом 1917 года. Однако её удалённость от крупных промышленных и научных центров очень сильно затрудняла организацию учёбы, и в том же 1922 году было принято решение возвратить её в Петроград, где она разместилась в здании бывшей Николаевской академии.

Лекции в академии читали такие видные учёные, как профессора В.И. Коваленков и А.А. Петровский. Но самым ярким из учителей Бориса Ивановича был молодой профессор и энтузиаст радиодела Имант Георгиевич Фрейман, ещё при жизни удостоенный эпитетов «учитель всех учителей от радиотехники» и «отец радиолюбительского движения».



Имант Георгиевич Фрейман

Собственно, и сам термин «радиотехника», как и термин «радиовещание», были введены в научный оборот именно Имантом Георгиевичем. Ну а завершающий краткий портрет Иманта Георгиевича, стоит сказать, что он владел пятью иностранными языками (в том числе японским), прекрасно музицировал и был большим знатоком и любителем балета.

В 1925 году электротехнический факультет, где учился Борис Иванович, передали в состав ЛЭТИ в виде Военного электротехнического отделения. А в 1928 году Борис Иванович закончил это отделение и получил специальность «военный инженер-электрик».

После учёбы он был распределён в «Особое техническое бюро по военным изобретениям специальному назначению». И прежде чем говорить о дальнейшей судьбе Бориса Ивановича, уделим немного внимания этой интересной организации.

«Особое техническое бюро по военным изобретениям специальному назначению» или, как его сокращённо называли, Остехбюро, было основано в 1921 году по приказу Владимира Ильича Ленина. Создателем и руководителем Остехбюро стал Владимир Иванович Бекаури.



Владимир Иванович Бекаури

Владимир Иванович родился в 1882 году, в 1903 году закончил Михайловское техническое железнодорожное училище в Тифлисе. Активно участвовал в революционных событиях 1905 года, — изготавлял для восставших рабочих бомбы и даже сделал самодельную пушку.

В 1907 году Бекаури бежит из Тифлиса в Сибирь, а в 1911 — перебирается в Петербург, где продолжает заниматься изобретательской деятельностью, в основном в области железнодорожной техники.

Начавшаяся Первая мировая война повлияла на профиль его работ. В декабре 1915 года Владимир Иванович передал в отдел изобретений Центрального военно-промышленного комитета заявки на патенты

по ныряющей мине и фальшивым перископам к плавучему буйку.

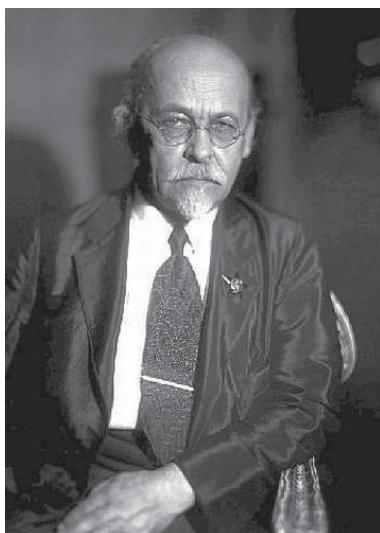
Летом 1921 года изобретениями Бекаури заинтересовался Ленин. Они были продемонстрированы Владимиру Ильичу и заслужили его положительную оценку.

9 августа 1921 года Ленин подписал мандат № 0-А 10197, где изобретателю Владимиру Ивановичу Бекаури поручалось немедленно начать осуществление изобретения военно-секретного характера, для чего разрешалось организовать техническое бюро и мастерскую. 18 августа 1921 года Бекаури, уже в статусе заведующего Остехбюро, издал Приказ №2 об образовании шести подразделений (частей): специальной, авиационной, подводного плавания, взрывчатых веществ, электротехнической, экспериментально-исследовательской. Именно в электротехническую часть Остехбюро и был распределён в 1928 году новоиспечённый военный инженер-электрик Борис Иванович Преображенский.

Тематика работ Остехбюро была самой разнообразной. В Остехбюро занимались разработкой морского и авиационного вооружения, карликовых подводных лодок, средств связи, аппаратуры шифрования, но главной страстью Бекаури была всевозможная техника на радио- или, как тогда говорили, «волновом» управлении.

Главным заказчиком рабо Остехбюро был «красный маршал» Михаил Николаевич Тухачевский, ставший в 1931 году начальником вооружений РККА, а в 1934 — заместителем Народного комиссара обороны по вооружению.

Первой крупной разработкой Остехбюро в области устройств с «волновым» управлением стали дистанционно управляемые радиофугасы «Беми», названные по первым буквам фамилий руководителей разработки — Владимира Ивановича Бекаури и профессора, а впоследствии и академика, Владимира Фёдоровича Миткевича.



Владимир Фёдорович Миткевич

Такая мина представляла собой взрывное устройство, команда на подрыв которого отдаётся в виде передаваемой по радио сложной кодовой последовательности, причем дистанция отдачи команд составляла десятки и сотни километров.

При испытаниях «Беми» несколько испытательных образцов было размещено на подмосковных полигонах, после чего в Ленинград был отправлен специальный вестовой с запечатанным конвертом, где было указано время подрыва каждой из мин. Все мины были активированы точно в указанный срок по радиокоманде из Ленинграда.

Забегая вперёд скажу, что радиофугасы, разработанные на основе «Беми», были запущены в массовое производство под индексом Ф-10. В войсках для их применения были сформированы специальные «батальоны ТОС», где ТОС расшифровывалось как «техника особой секретности». Во время Великой Отечественной войны они активно использовались для диверсий в немецком тылу — с их помощью были организованные масштабные взрывы зданий в Киеве, Харькове, Выборге, а также подрывы мостов и дорог в глубоком немецком тылу.

Борис Иванович Преображенский имел к минам «Беми» непосредственное отношение, поскольку отвечал за их внедрение в серийное производство. В 1930—32 годах Борис Иванович прикомандированывается к ленинградским заводам имени Коминтерна и имени Козицкого, где организуется серийное производство изделий Остехбюро. В конце 1932 года Бориса Ивановича переводят в Москву, где ему ставят задачу «с нуля» создать новый радиозавод для производства спецтехники. Помимо «Беми» на заводе планировалось производство аппаратуры «Кварц» и «Вольт-Р» — передатчика и приемника команд для дистанционно управляемых катеров.

Место для строительства нового завода было выделено в Дангауэрской слободе, недалеко от нынешнего метро «Авиамоторная», возле станции «Новая» Казанской железной дороги. Первоначально завод получил только номер, 198, а впоследствии и название — «Радиоприбор».

Завод было решено оснастить новейшим заграничным производственным оборудованием. Борис Иванович, как человек с гимназическим образованием, владевший французским и немецким языками, как нельзя лучше подходил для роли торгового представителя по закупке такого оборудования.

В 1933—34 годах он посещает Польшу, Чехословакию, Австрию, Швейцарию, Францию, Англию и Германию, где посещает радиозаводы и ведёт переговоры о покупке оборудования.

Тогда же, в 1934 году, за разработку и постановку на производство радиофугасов «Беми» группу сотрудников Остехбюро во главе с Владимиром Ивановичем Бекаури награждают орденами Красной Звезды.

В списке награждённых значился и Борис Иванович Преображенский.

В начале 1936 года Борис Иванович заканчивает работу на «Радиоприборе», — завод был запущен в штатную работу и начал выдавать серийную продукцию, — и переводится в Московское отделение Остехбюро на должность главного инженера. Фактически на тот момент он был вторым человеком после Владимира Ивановича Бекаури в огромной организации, имевшей в штате почти четыре тысячи сотрудников, несколько испытательных баз в разных концах Советского Союза, а также собственные воздушные и корабельные флотилии.

Однако наступал 1937 год и над Остехбюро начали сгущаться тучи. Как уже писалось выше, Бекаури был фаворитом Тухачевского, — арест и падение «красного маршала» в 1937 году не могли не отразиться на тех, кему он покровительствовал.

Второй важной причиной был сам Владимир Иванович Бекаури. Будучи очень талантливым инженером, он оказался не самым лучшим администратором. Несмотря на огромный объем обязанностей по руководству той огромной организацией, в которую превратилось Остехбюро в конце тридцатых годов, Бекаури пытался сам заниматься какими-то исследованиями и разработками. Со всем своим южным пылом он бросался на каждую новую идею, обеспечивал её реализацию людьми, ресурсами, деньгами, но... ровно до тех пор, пока не появлялась новая яркая идея, и всё не повторялось сначала.

В итоге проходило время, тратились огромные деньги, а результата не было — армия не получала работоспособной дистанционно управляемой техники. И пока Тухачевский был в фаворе у руководства страны, на это закрывали глаза, но как только началось его падение, среди его подчинённых началось соревнование, кто быстрее и лучше доложит наверх об ошибках опального начальника вооружений. В условиях «Большого террора» это давало пусть и иллюзорный, но шанс выжить.

В июне 1937 года флагман 1 ранга Иван Мартынович Лудри докладывал Сталину: «...Более конкретный вопрос о работе Особого техбюро. Эта организация являлась монопольной организацией по существу для Красной армии, которая изобретала, конструировала и поставляла, пытаясь, вернее говоря, поставлять все новые изобретения. Однако в смысле внедрения новых образцов оружия, поскольку это дело было у Тухачевского, я считаю, дело у нас обстояло, безусловно, вредительски. Сейчас уже выявлены вредители в этом Остехбюро. Я считаю, что вся система работы в этой организации ведется вредительским порядком...».

Тучи сгостились и над головой Бориса Ивановича Преображенского. В декабре 1936 года руководитель группы военного контроля В.И. Романовский докла-

дывал руководству: «...Остехбюро НКО, развившись до 3 тыс. чел. Своего состава, уже давно переросло современную организаторскую структуру <...> Руководитель Остехбюро т. Бекаури, концентрируя в своих руках всю деятельность учреждения, руководит своим учреждением методами, свойственными руководителю личной лаборатории. <...> Личный состав Остехбюро, хотя в прошлом и проверялся органами НКВД, однако в своём коллективе имеет до сих пор ряд сомнительных личностей (Яхонтов, Матвеев, Преображенский)».

Бориса Ивановича арестовали в марте 1937 года. Уже в тюрьме Борис Иванович подписал признательные показания, что во время своей европейской поездки 1933–1934 годов был завербован немецкой разведкой. Кроме того, он был вынужден указать на многих своих сослуживцев по Остехбюро, как на участников подпольной троцкистской организации.

Однако уже в 1938 году жизнь Бориса Ивановича меняется. В сентябре 1938 года приказом наркома внутренних дел Ежова организуется Отдел особых конструкторских бюро НКВД СССР. Бориса Ивановича переводят в Бутырскую тюрьму, где он работает в особом конструкторском бюро по радиотехнической тематике, а его коллегами выступают такие высококлассные специалисты, как будущий академик Александр Львович Минц и профессор Ефим Самуилович Анцелиевич.

11 июля 1941 года Бориса Ивановича внезапно освобождают со снятием судимости и зачисляют в личный состав НКГБ СССР. Организация, ещё недавно разоблачившая Бориса Ивановича как иностранного шпиона и врага Советской власти, признала его достойным включения в свои ряды.

«Спасителем» Бориса Ивановича был старший майор государственной безопасности(что соответствовало армейскому чину генерал-майора) Павел Анатольевич Судоплатов, начальник Особой группы при НКВД СССР, второго специального отдела, а за-



Павел Анатольевич Судоплатов

тем четвёртого управления НКГБ. Все эти подразделения занимались одним и тем же — террором и диверсиями в немецком тылу, агентурной и технической разведкой.

Борис Иванович становится сотрудником пятого отделения второго специального отдела НКВД. В функции пятого отделения входила разработка специальной техники для террора и диверсий, а также обучение личного состава диверсионно-террористических подразделений её использованию. Начальником отделения был Михаил Петрович Филимонов. Заместителем Филимонова по вопросам спецтехники — уже знакомый Борису Ивановичу профессор Анцелиевич.

Как уже писалось выше, радиоуправляемые фугасы, к разработке которых имел отношение Борис Иванович, широко и довольно эффективно использовались в начале войны. Это, скорее всего, и обусловило востребованность Бориса Ивановича как специалиста по этому виду оружия.

Одним из первых ярких эпизодов на новой службе Преображенского стала работа по минированию ряда объектов Москвы, где предполагалось размещение немецких штабов в случае захвата Москвы немцами. Обратимся к воспоминаниям Судоплатова: «...в октябре 1941 года меня вызвали в кабинет Берии, где находился Маленков, и приказали заминировать наиболее важные сооружения в Москве и на подступах к ней, такие, как главные железнодорожные вокзалы, объекты оборонной промышленности, некоторые жилые здания, некоторые станции метрополитена и стадион «Динамо», взрывчатка должна была быть готова уже через двадцать четыре часа. Мы трудились круглые сутки, чтобы выполнить приказ <...> На тот случай, если немцам удастся захватить город, наша бригада заминировала в Москве ряд зданий, где могли бы проводиться совещания высшего немецкого командования, а также важные сооружения как в столице, так и вокруг неё».

К счастью, заложенные фугасы в итоге не пригодились, однако самоотверженная работа Бориса Ивановича была отмечена медалью «За оборону Москвы».

Основными же задачами Бориса Ивановича были разработка и постановка на производство новой специальной радиотехники, а также обучение офицеров НКГБ, предназначенных к заброске в немецкий тыл, пользованию этой техникой.

Несколько раз Бориса Ивановича отправляли в командировки на фронт. Помимо уже упомянутых задач в прифронтовой Москве, он выезжал на Кавказский фронт, на Белорусский фронт и в Литву. Детали его командировок, к сожалению, покрыты тайной.

Об успехах Бориса Ивановича в работе косвенно свидетельствуют его многочисленные награды.

1943 год — медаль «За трудовую доблесть» (высшая медаль за труд и пятая в неофициальном медальном «табеле о рангах», где уступала только армейским медалям «За отвагу» и «За боевые заслуги», а также их военно-морским аналогам). 1944 год — первая степень медали «Партизану Отечественной войны», орден Боевого Красного Знамени. 1945 год — вторая степень ордена Отечественной войны, орден «Знак почёта» и медаль «За победу над Германией».

С окончанием войны закончилась и служба Бориса Ивановича. В 1946 году он увольняется из Министерства государственной безопасности и переходит работать в только что созданное Проектно-конструкторское бюро №886, в создании которого принимает самое деятельное участие.

Основной задачей ПКБ-886, в соответствии с постановлением Совета министров являлось изучение трофейной немецкой документации на системы радиоуправления ракеты А-4 (ФАУ-2) и обеспечения возможности их воспроизведения отечественной промышленностью.

Когда трофейное немецкое оборудование было изучено и воспроизведено, начались дальнейшие разработки по совершенствованию этой аппаратуры. Подразделение ПКБ-886, занимавшееся разработкой систем бортовой радиокоррекции, было в 1947 году передано в состав НИИ-885, современного Научно-производственного центра автоматики и приборостроения имени академика Н.А. Пилюгина.

Остальные сотрудники ПКБ, уже после перевода Бориса Ивановича в МТФЛ, стали основой для заводского КБ завода №633. А ещё через какое-то время и завод, и заводское КБ вошли в состав ЦНИИ «Комета».

И здесь в биографии Бориса Ивановича возникает транный поворот, причины которого так и не удалось выяснить. Работая в ПКБ-886, он одновременно учился на Высших инженерных курсах в МВТУ имени Н.Э. Баумана.

Эти курсы организовал Сергей Павлович Королёв с целью переподготовки технических специалистов различного профиля для работы в ракетостроительной промышленности и сам же читал там лекции. Вместе с ним лекции Борису Ивановичу читали Валентин Петрович Глушко и Михаил Сергеевич Рязанский. Однокашником Преображенского был будущий академик Виктор Петрович Макеев, вместе с ним учились будущие члены Академии наук Николай Алексеевич Желухин и Дмитрий Ильич Козлов, будущий генерал-лейтенант и директор ЦНИИмаш Юрий Александрович Мозжорин.

Борис Иванович очевидно планировал и дальнейшую работу в этой области. Но вдруг... перевод на ответственную, но всё же второстепенную должность начальника всего лишь филиал-лаборатории, да ещё и

никак не связанной с ракетно-космической тематикой. Загадка...

Впрочем, по поводу её отгадки есть несколько версий. Во-первых, возраст. Борис Иванович был почти на двадцать лет старше большинства своих соучеников. Возможно его просто признали бесперспективным на фоне гораздо более молодых специалистов.

Во-вторых, возможно Борис Иванович вслед за Юлием Цезарем решил, что лучше быть первым в Галлии, чем вторым в Риме, и лучше быть директором пусть маленького, но отдельного НИИ, чем одним из многочисленных руководителей среднего звена в огромной организации, работающей на космос.

Ну и, наконец, в-третьих, могла сыграть свою роль всё та же неблагонадёжная биография Бориса Ивановича. Конец 40-х и начало 50-х годов были тяжёлым временем, когда над страной во весь рост встал призрак новой войны. Весьма вероятно, что «неправильное» происхождение Бориса Ивановича вкупе с его «рваным» партийным стажем и сомнительной репутацией Остехбюро могли привести к тому, что его могли убрать из оборонно значимой отрасли несмотря на все награды, заслуги и таланты.

Так или иначе, в 1950 году Борис Иванович Преображенский покидает ПКБ-886 чтобы возглавить МТФЛ. С этого момента его судьба оказалась связана с МТФЛ-ВНИИПТ-МНИТИ. И если для него это был лишь краткий эпизод, то для МНИТИ это было начало существования. Время, когда закладываются традиции, и формируется облик организации.

С самого начала работы МТФЛ Борис Иванович поставил перед только-только собранным коллективом крайне амбициозную задачу: превратить филиал-лабораторию в самостоятельный крупный научно-исследовательский институт.

Интересно, что чисто гражданский профиль работы будущего МНИТИ внезапно дал Борису Ивановичу такую необычайную свободу в подборе специалистов, которой на тот момент не имели руководители оборонных предприятий, наделённые самыми чрезвычайными полномочиями и имевшие доступ к почти неограниченным бюджетам.

Гражданский характер разработок МТФЛ освобождал филиал-лабораторию от каких-либо ограничений, связанных с любыми «подозрительными» анкетными данными, поэтому у Бориса Ивановича была возможность приглашать самых разных специалистов, которым по разным причинам было трудно найти работу в то время.

Так в институте оказались внук крупного одесского торговца Антон Яковлевич Брейтбарт, сослуживец Бориса Ивановича по Остехбюро Яков Исаакович Эфруssi или «сын врага народа» Игорь Андреевич Хвыля-Олинтер.

Кроме того, Борис Иванович активно привлекал к работе молодых специалистов, только-только вышедших со студенческой скамьи. Будущие руководящие сотрудники МНИТИ, такие как Лев Гаврилович Семёнов, Олег Михайлович Артюхов, Игорь Иосифович Литvak и многие другие пришли молодыми инженерами в МТФЛ именно при Борисе Ивановиче Преображенском.

Работали тогда практически на износ. Ветеран МНИТИ Борис Иванович Хохлов впоследствии вспоминал: «В пять часов вечера, когда формально рабочий день заканчивался, работа только по-настоящему разворачивалась. Домой уходили в 10-11 часов ночи». Такие усилия давали закономерный результат — за те пять лет, когда Преображенский был «у руля» МТФЛ, был разработан телевизор «Авангард», сконструирована широкоэкранная проекционная система для театра «Эрмитаж», начаты работы по созданию авиационных систем ретрансляции телевизионных сигналов.

В 1955 году Борис Иванович переходит на работу в ЦНИИ «Комета», туда же, куда раньше перешла часть его «родного» ПКБ-886. В «Комете» ему суждено было проработать ещё почти 20 лет и заработать второй по счёту орден «Знак почёта». В 1974 году Борис Иванович был уволен на пенсию по возрасту, а в 1975 году умер. В Москве продолжает жить несколько поколений его потомков.



Разработана ЗАО «МНТИ», НИО-100

Система видеонаблюдения «Хамелеон-ТМ»

Система видеонаблюдения «Хамелеон-ТМ» предназначена для:

- обнаружения, отслеживания и опознавания (сверкой с базой данных ЛА) малозаметных ЛА в любое время суток на подлетных расстояниях;
- определения и выдачи угловых координат обнаруженных объектов.

Общий вид системы видеонаблюдения показан на рисунке 1.



В состав системы видеонаблюдения входят:

- модуль обзорного канала,
- модуль детального канала.

Характеристики модуля обзорного канала:

- рабочий диапазон длин волн оптического канала – от 0,4 до 0,9 мкм;
- рабочий диапазон длин волн ИК канала – от 8 до 14 мкм;
- тепловая чувствительность в ИК диапазоне – не более 80 мК.

Характеристики модуля детального канала:

- диапазон поворота линии визирования:
 - по углу места – от минус 90 до плюс 90°;
 - по азимуту – не менее 60°.
 - рабочий диапазон длин волн оптического канала – от 0,4 до 0,9 мкм;
 - рабочий диапазон длин волн ИК канала – от 3 до 5 мкм.
 - тепловая чувствительность в ИК диапазоне – не более 20 мК.
- Дальность действия системы видеонаблюдения «Хамелеон-ТМ» – до 8 км.