

Радиолокационные приборы для промышленных измерений

От разработки до внедрения и освоения перспективных направлений

ЮРИЙ МАЗАЛОВ,
директор по качеству –
главный метролог
ООО предприятия
«КОНТАКТ-1»

ВИКТОР ПРОНИН,
начальник СКБ
ООО предприятия
«КОНТАКТ-1»

**ДМИТРИЙ
НАГОРНЫЙ,**
начальник отдела
приборов и систем
контроля и измерения
уровня ООО предприятия
«КОНТАКТ-1»

Эволюционные изменения, произошедшие в последние десятилетия в наиболее значимых для функционирования экономики государства отраслях промышленности, потребовали внедрения на современных производствах комплексных систем автоматизированного управления технологическими процессами (АСУ ТП), сочетающих в себе высокие эффективность и надежность, способность обеспечить максимальную независимость регулирующих и контрольных процедур от «человеческого фактора». При этом особую значимость приобрела задача создания (как одного из важнейших и определяющих элементов подобных систем) высокоточных первичных измерителей параметров процессов, на анализе исходной информации которых реализуются заданные алгоритмы функционирования АСУ ТП.

ИЗМЕРЕНИЕ УРОВНЯ В ЗАДАЧАХ КОНТРОЛЯ И УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Среди первичных промышленных измерений в настоящее время одними из наиболее актуальных в отношении информационного обеспечения АСУ ТП являются измерения уровня, составляющие, по некоторым оценкам, до 30% от общего числа выполняемых измерительных операций. Точные и надежные измерения уровня – непереносимое условие для автоматизации и оптимизации управления технологическими процессами на предприятиях нефтегазодобывающего и перерабатывающего сектора, нефте-

химии, тепловой и атомной энергетики, резервного хранения ресурсов – всех промышленных объектов, имеющих в своем составе крупные резервуарные парки.

Условия эксплуатации приборов – уровнемеров отличаются труднореализуемыми требованиями. Среди них – наличие избыточного давления и разрежения в резервуаре как объекте контроля, диапазон температуры окружающей среды от –50 градусов до +60 градусов, температура контролируемого продукта до +200 градусов и более, наличие испарений, пенообразования, турбулентности, интенсивных промышленных помех. Обязательное требование к конструкции уровнемеров, применяемых на опасных производствах с возможностью образования легковоспламеняемых сред в месте установки прибора, – наличие взрывозащиты, полностью исключающей инициацию окружающего пространства от любых электрических процессов внутри оборудования.

СОВРЕМЕННОЕ НАПРАВЛЕНИЕ ПРОМЫШЛЕННОЙ УРОВНЕМЕТРИИ

Показателем технического совершенства измерителей уровня является точность измерений. Потребность в повышении метрологических характеристик обусловлена актуальностью высокоточного коммерческого резервуарного учета дорогостоящих продуктов, а также обеспечения полной достоверности о количестве контролируемых потенциально опасных субстанций.

В последние годы в области промышленной уровнеметрии определилось основополагающее направление прецизионного измерения уровня, потребовавшее создания приборов с точностью измерений порядка 1 мм и даже лучше.

Традиционно массово используемые ранее для рассматриваемых измерений ультразвуковые, емкостные, буйковые уровнемеры из-за присущих им ограничений уже не могли отвечать современным требованиям.

Ныне всеобщее признание получил метод радиолокационного измерения уровня как наиболее соответствующий сложившимся направлениям развития уровнеметрии:

- возможность обеспечения прецизионных измерений;
- реализуемость бесконтактных измерений уровня через свободное пространство над продуктом;
- практическая независимость результатов измерений от диэлектрической проницаемости продукта, а также от температуры и давления в резервуаре как объекте контроля;
- возможность осуществления измерений фактически на всех видах жидких продуктов (исключая только полностью радиопрозрачные), в том числе и высоковязких, а также на сыпучих веществах.

Радиолокационные (радарные) уровнемеры, сегодня массово производимые десятками зарубежных компаний и небольшим количеством российских предприятий, оказались весьма востребованы промышленностью. Высокая стоимость приборов, первоначально сдерживавшая их применение, благодаря стремительному прогрессу в области микросхемотехники и появлению специализированной элементной базы доведена до приемлемой в условиях промышленных производств.

ОСНОВНЫЕ ОТЛИЧИЯ И ПРОБЛЕМЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ УРОВНЕМЕРОВ ОТ ТРАДИЦИОННЫХ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ ВЫСОТО- И ДАЛЬНОМЕРОВ. ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ НОВЫХ ПРИБОРОВ

Промышленные радиолокационные уровнемеры, хотя и являются общетехническими аналогами традиционных радиоальтиметров и

радиодальномеров, имеют ряд принципиальных отличий от них как в своей схемотехнике, так и в методах обработки сигналов. Эти обстоятельства потребовали от разработчиков длительных теоретических и практических исследований, прежде чем задача создания уровнемера, отвечающего современным требованиям, была успешно решена.

При проектировании уровнемера за основу приняли базовую схему радиодальномера с непрерывным излучением и частотной модуляцией, которая ранее, в 1980-е годы, достаточно успешно применялась в разработке, при участии генерального директора «КОНТАКТ-1» Бориса Атаянца, на одном из предприятий в г. Рязани первого в отечественной практике радиолокационного уровнемера сантиметрового диапазона «Луч». Опыт разработки и испытаний этого прибора, имевшего точность измерений в пределах ± 20 мм, явился краеугольным камнем при создании в начале 2000-х годов радиолокационных измерителей уровня нового поколения.

Локация близкорасположенного объекта в сравнительно малом изолированном объеме металлического резервуара вызывает появление в спектре обрабатываемого измерительного сигнала, помимо полезной составляющей от поверхности контролируемого продукта, не только множественных переотражений, но и таких специфических составляющих, которые возникают из-за отражений от стенки резервуара, от дна резервуара с частичным прохождением волны через радиопрозрачную жидкость (нефтепродукты), от посторонних внутренних конструкций в резервуаре (смотровые лестницы, термоэлементы, трубопроводы и т.п.). При этом, например при определенных уровнях продукта, амплитуда составляющей от металлического дна резервуара может даже превышать амплитуду составляющей от полезного отражения.

Перечисленные обстоятельства, помимо необходимости применения новых схемотехнических решений в разрабатываемых высокоточных измерителях уровня, вызвали необходимость предварительного теоретического анализа вопросов обработки измерительного сигнала при наличии мешающих отражений и поиска путей минимизации составляющих погрешности измерений.

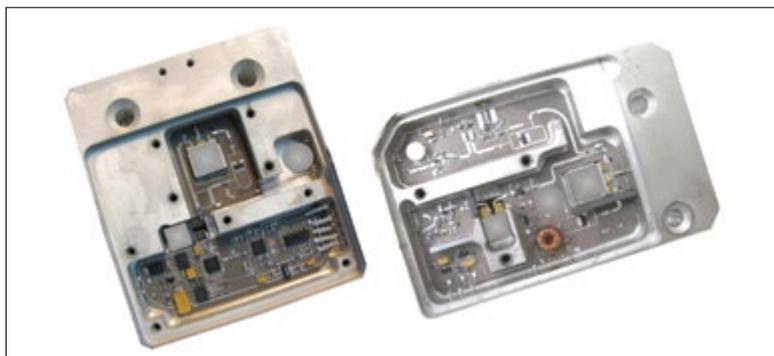


Фото 1. СВЧ-приемо-передающие модули для радиолокационных уровнемеров собственной разработки предприятия

Развернутые на предприятии интенсивные научные исследования по прикладным задачам радиолокационной уровнеметрии позволили предложить собственные патентоспособные технические решения для уровнемеров, их составляющих и алгоритмов обработки сигналов, защищенные 25 патентами РФ. Результаты исследований представлены на десятках научных конференций и в опубликованных научных статьях. В сконцентрированном виде результаты работ изложены в монографии «Прецизионные системы ближней частотной радиолокации промышленного применения», изданной в 2012 году в издательстве «Радиотехника» и в ее переводе «FMCW Short Range Radar for Industrial Applications» в США и Великобритании в 2014 году в издательстве Artech House Publishers, авторы: Борис Атаянц, Вячеслав Давыдочкин, Виктор Езерский, Валерий Паршин, Сергей Смольский.

Реализация аппаратной части уровнемеров осуществлялась на основе новейшей элементной базы. В качестве рабочего был выбран сантиметровый диапазон радиоволн. На предприятии создали отдел СВЧ-устройств, полноценно оснащенный измерительным оборудованием. На базе отдела разработана серия надежных микрополосковых СВЧ-модулей собственной конструкции, выполненных на арсенид-галлиевых элементах и цифровых делителях частот. Для формирования высокостабильного излучаемого колебания с высоколинейной частотной модуляцией применены быстродействующие цифровые синтезаторы частот прямого синтеза и с системой фазовой автоподстройки. В алгоритме цифровой обработки использован высокопроизводительный сигнальный процессор. В основе алгоритмов заложены методы спектрального оценивания с использованием быстрого преобразования Фурье.

Напряженная работа коллектива исследователей, разработчиков и конструкторов завершилась разработкой четырех моделей радиолокационных уровнемеров, частично объединенных универсальными конструктивными решениями, но имеющих разные метрологические характеристики и, соответственно, относящихся к различным стоимостным категориям. Такое семейство приборов открывало широкие возможности их внедрения на производствах.

В 2004 году развернуто серийное производство уровнемера БАРС341И (точность измерений ± 2 мм), в 2005 и 2006 годах освоено производство моделей БАРС352И и БАРС351И (точность измерений ± 1 мм) соответственно, в 2007 году – модели БАРС322МИ (точность измерений ± 50 мм).



Фото 2.1. Одноантенные радиолокационные уровнемеры (БАРС351И, БАРС341И)



Фото 2.2. Двухантенные радиолокационные уровнемеры (БАРС322МИ, БАРС352И)



Фото 3. Различные исполнения уровнемеров серии BARC, отличающиеся размером и типом антенн, типоразмером монтажного фланца, направляющей системой в виде трубы-волновода, конструктивно приспособленные к различным посадочным местам на рабочих резервуарах

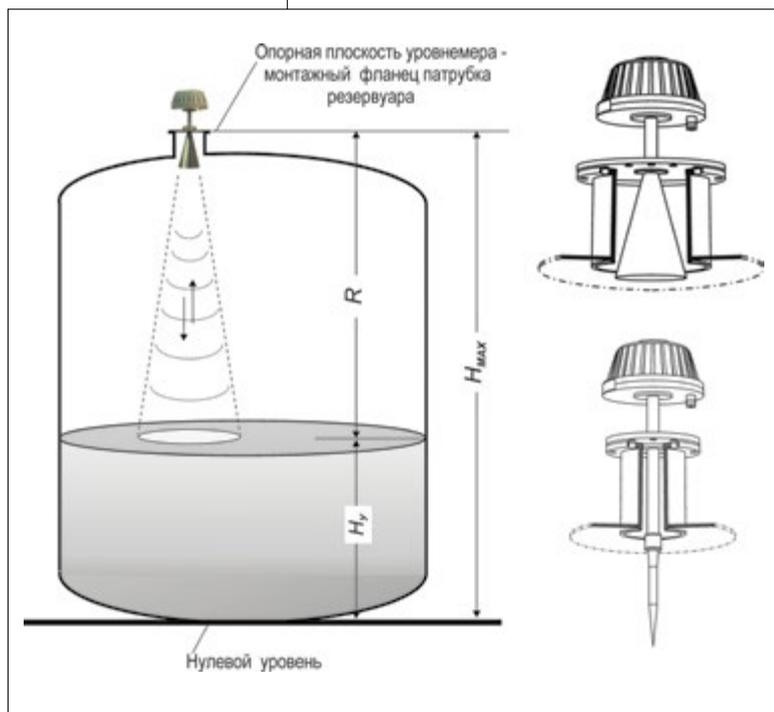
Основное назначение приборов BARC351И и BARC352И определялось как высокоточное, бесконтактное, непрерывное измерение жидких продуктов в резервуарах и емкостях. BARC341И – измерения средней точности. BARC322МИ – прибор, специально спроектированный для измерений сыпучих продуктов, у которых из-за отсутствия гладкой поверхности рассыпа понятие «уровень», строго говоря, существует весьма условно и предельно высокой точности измерений не требует.

Двухантенные уровнемеры BARC352И и BARC322МИ явились своеобразным «ноу-хау» предприятия, поскольку обладают исключительными эксплуатационными свойствами в условиях применения на подогреваемых продуктах (BARC352И) с наличием испарений и отложений на антеннах (мазут, битум), а также при измерениях сыпучих продуктов в условиях высокой запыленности свободного пространства (BARC322МИ). Предприятие «КОНТАКТ-1» – единственный в России производитель двухантенных радиолокационных измерителей уровня, которые востребованы в ряде отраслей промышленности.

При разработке уровнемеров применен принцип модульной конструкции, предусматривающий наличие блока обработки с унифицированным корпусом и набора различных антенн с возможностью выполнения волноводного удлинения перед антенной требуемой длины. Такой подход открыл возможность применения уровнемеров практически к любым конструкциям имеющихся у заказчиков резервуаров.

Массивная конструкция литого алюминиевого корпуса блока обработки обеспечивает один из наиболее надежных видов взрывозащиты. Прочный корпус со специальным защитным зазором гарантируют, что любой электрический штатный или запредельный процесс внутри оболочки не способен вызвать воспламенение окружающей прибор потенциально опасной среды (при эксплуатации уровнемера, например, на нефтепродуктах). Успешно проведенные испытания на базе специализированной организации позволили подтвердить соответствие конструкции приборов принципам взрывозащиты и получить на уровнемеры сертификаты соответствия требованиям Технического регламента Таможенного союза.

Рис. 1. Измерения в резервуаре – уровнемер исходно измеряет расстояние R до продукта, которое затем пересчитывается в показание уровня H_U через высоту монтажа прибора относительно монтажного фланца H_{MAX} . Примеры монтажа уровнемеров с различными типами антенн на патрубке резервуара



В ходе проектирования приборов определялась еще одна не менее важная задача – метрологического обеспечения исследовательских, опытно-конструкторских работ и приемосдаточных испытаний. В этих целях была изготовлена специализированная установка УП-01. Она размещена в отдельном помещении, оборудованном как безэховая камера. В качестве имитатора полезного отражения использован широкополосный радиолокационный отражатель, установленный на тележке и передвигаемый по отъюстированному рельсовому пути, совмещенному с измерительной лентой. Исследуемый или калибруемый уровнемер неподвижно размещался на нулевой отметке пути, и результаты измерений сличались с положением отражателя.

В УП-01 реализована величина основной погрешности в пределах $\pm 0,3$ мм, что позволило сертифицировать ее как эталонную установку, пригодную для первичной и периодической поверки уровнемеров. Технические решения защищены патентами РФ. На установку выдано свидетельство об утверждении типа средств измерений с внесением в Государственный реестр. Впоследствии при использовании установки УП-01 были получены свидетельства об утверждении типа средств измерений для уров-



Фото 4. Волноводные исполнения уровнемера БАРС351И с целым, составным волноводами и с узлом охлаждения блока обработки для измерения расплава свинца

немеров БАРС351И, БАРС352И, БАРС341И с внесением их в Государственный реестр средств измерений, что существенно расширило для предприятия возможности поставок данной приборной продукции.

ПРОМЫШЛЕННОЕ ВНЕДРЕНИЕ РАДИОЛОКАЦИОННЫХ УРОВНЕМЕРОВ

Успешное проведение приемочных испытаний, получение на приборы необходимых разрешительных документов, сертификатов соответствия и свидетельств об утверждении типа средств измерений открыли пути к их внедрению в гражданские отрасли промышленности.

Ставка руководства предприятия на продвижение уровнемеров путем предварительной опытной эксплуатации на объектах потенциальных заказчиков и разумная ценовая политика в немалой степени способствовали уверенному и целенаправленному внедрению новой для потребителей техники.

Первые поставки уровнемеров на объекты нефтедобывающей отрасли в восточных регионах страны, отличающиеся достаточно сложными климатическими и эксплуатационными условиями, дали хорошие результаты. Положительные отзывы от заказчиков, надежное функционирование уровнемеров в условиях непрерывной и длительной эксплуатации, пол-

ное соответствие заявленных метрологических характеристик реально проверенным на объектах – все это создало благоприятную атмосферу для работы предприятия.

Бесконтактные измерители уровня нашли применение и в химических цехах тепловых электростанций – на резервуарах с серной кислотой и щелочью. Антенно-волноводные системы, выполненные из нержавеющей стали и фторопласта, обеспечивают высокую стойкость конструкции прибора к воздействию паров этих агрессивных жидкостей внутри объема резервуара.

Важным шагом в развитии стала разработка и освоение производства волноводного исполнения уровнемеров. Использование в качестве направляющей системы перфорированной трубы-волновода, в которую свободно заходит продукт, позволило производить надежные и точные измерения на слабоотражающих продуктах (смазочные масла, сжиженные газы, газовый конденсат), а также в таких условиях, когда наличие внутренних конструкций в резервуаре делало неприемлемым применение приборов с рупорной или стержневой антенной. Вместе с тем волновод выполнял и функцию трубы-успокоителя, открывая возможность применения уровнемеров на резервуарах с мешалкой или принудительным барботажем (пропусканьем газа через жидкость).

Применение волноводного исполнения уровнемера с узлом охлаждения, устанавливаемым перед блоком обработки и обеспечивающим защиту электронных модулей от перегрева, позволило решить отдельные задачи специфических измерений, в частности, уровня расплава свинца с температурой до +700°C.

С освоением технологии покрытия деталей антенно-волноводной системы защитным слоем фторопласта удалось изготовить уровнемеры для измерения особо агрессивных жидкостей, например таких, как плавиковая кислота.

Высокое качество выпускаемых приборов обеспечивается действующей на предприятии системой менеджмента качества на соответствие требованиям ГОСТ Р ИСО 9001-2015 (ISO 9001:2015).

Следующим шагом в развитии радиолокационного направления на предприятии стала раз-

работка и промышленное внедрение систем АСУ ТП «Парк хранения», отвечающих всем современным требованиям. Измерительная часть системы выполняется на основе уровнемеров БАРС351И (или других моделей) и измерителей температуры ТЕМП-01, данные с которых по единой линии информационной связи через блок контроля и управления БУК-01 передаются на компьютер автоматизированного рабочего места оператора. Система обеспечивает полное управление функционированием резервуарного парка хранения нефтепродуктов с визуализацией резервуарного парка на экране монитора оператора, отображением состояния каждого отдельного резервуара, вычислением количества продукта, составлением журнала событий и архивов.

Накопленный с годами технический опыт, надежность и качество приборной продукции позволили «КОНТАКТ-1» получить лицензии Ростехнадзора на право конструирования и изготовления оборудования для ядерных установок атомных станций.

С получением лицензий разработано «атомное» исполнение радиолокационных уровнемеров БАРС351И, предназначенное для применения на объектах использования атомной энергии (ОИАЭ), отвечающее требованиям



Фото 5. Исполнение радиолокационного уровнемера со стержневой антенной и полностью фторопластовым защитным покрытием деталей, контактирующих с атмосферой резервуара. Применение – измерение уровня плавиковой (фтористоводородной) кислоты

Фото 6.

Технологический прогон радиолокационных уровнемеров перед поставкой потребителю – обязательная операция в процессе проверки качества приборной продукции



класса безопасности ЗН, жестким требованиям по электромагнитной совместимости, сейсмостойкости, стойкости к дезактивационным растворам. Эксплуатация приборов показала эффективность их применения для различных технологических измерений на АЭС и других предприятиях атомной отрасли, в том числе и при использовании на активных продуктах. Наибольшее применение на ОИАЭ нашло волноводное исполнение уровнемера БАРС351И с классом безопасности ЗН, обеспечивающее возможность осуществления измерений в специфических малоразмерных аппаратах (резервуарах), характерных для данной отрасли, с наличием большого количества внутренних конструкций и трубопроводов. Важно и то, что через соответствующее удлинение волновода и через проходку в перекрытии удастся вывести блок обработки такого уровнемера в так называемое «чистое помещение» с меньшим уровнем излучений. В настоящее время радиолокационные уровнемеры, выпускаемые предприятием «КОНТАКТ-1», эксплуатируются на семи действующих АЭС и на пяти других предприятиях атомной отрасли на территории РФ.

Отдельного упоминания заслуживает модель уровнемера БАРС322МИ, специально разработанная применительно к измерению сыпучих продуктов. Этот прибор широко при-

меняется на предприятиях строительной индустрии, электростанциях с угольным питанием, горно-обогатительных фабриках, где наличие высокой запыленности пространства над контролируемыми веществами препятствует использованию каких-либо измерителей уровня, реализованных на других физических принципах.

Радиолокационные уровнемеры серии БАРС нашли применение на сотнях российских промышленных предприятий различных отраслей, а также в странах ближнего и дальнего зарубежья – в государствах Балтии, Казахстане, Вьетнаме, Белоруссии и Украине.

С увеличением поставок радиолокационных уровнемеров специалисты предприятия, отвечая на пожелания практикующих специалистов КИПиА и инженеров систем автоматизации на объектах эксплуатации этого сравнительно нового типа приборов, подготовили к печати и выпустили специализированное пособие «Отечественные радиолокационные уровнемеры с частотной модуляцией. Практика промышленного применения». В издании рассмотрены многие практически значимые вопросы применения радиолокационных измерителей уровня серии БАРС, особенности такого способа измерений, технические характеристики и эксплуатационные возможности разных моделей приборов. ◆

Разработка однокристалльных МЭМС гироскопов и акселерометров для систем навигации

Одним из направлений развития систем ориентации, стабилизации, управления движением и навигации малогабаритных роботизированных средств является применение в них технологий микроэлектромеханических систем (МЭМС). Спрос на устройства, созданные по МЭМС-технологиям, связан с их основными достоинствами: многофункциональность, малое энергопотребление, надежность, массогабаритные характеристики и низкая стоимость. Также важным достоинством МЭМС является совместимость их технологии производства с процессами, применяемыми при производстве интегральных микросхем. На сегодняшний день рынок устройств на основе МЭМС-технологий составляет порядка \$16 млрд при среднегодовом темпе роста 15%. По прогнозам мировых аналитических агентств, к 2022 году рынок МЭМС будет составлять \$26 млрд (рисунок 1).

На рисунке 2 представлены мировые лидеры среди компаний, занимающихся производством устройств на основе МЭМС-технологий.

Интегрированные в системы ориентации, стабилизации, управления движением и навигации малогабаритных роботизированных средств МЭМС должны обеспечивать возможность регистрации всех параметров движения объекта и обладать малыми массой и габаритными размерами. Элементная база навигационных систем включает в себя микро- и наномеханические гироскопы и акселерометры для измерения угловой скорости, угловых и линейных ускорений малогабаритных роботизированных средств.

На рисунке 3 показан прогноз развития рынка микро- и наномеханических гироскопов и акселерометров на 2021 год. Как видно, средняя цена микромеханического гироскопа

ИГОРЬ ЛЫСЕНКО,
заведующий кафедрой конструирования электронных средств Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, доктор технических наук, доцент

ЕВГЕНИЙ ГУСЕВ,
доцент кафедры нанотехнологий и микросистемной техники Института нанотехнологий, электроники и приборостроения Южного федерального университета, кандидат технических наук

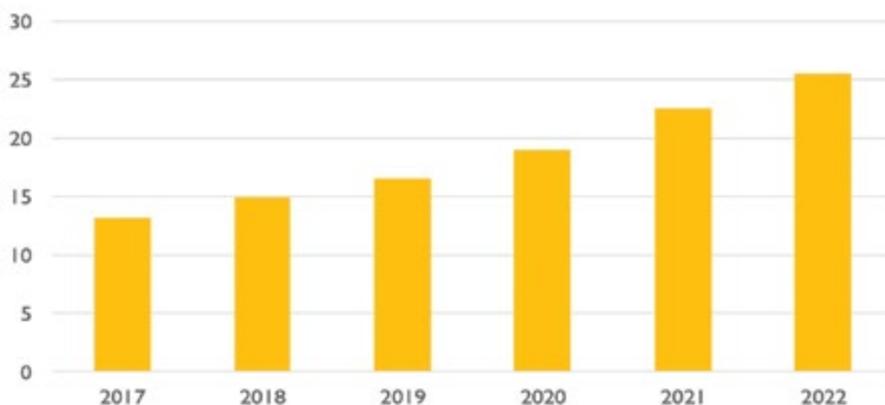


Рис. 1. Прогноз развития рынка МЭМС на 2017-2022 годы в млрд долл. США



Рис. 4. Прогноз развития рынка систем для подвижных объектов

изводство интегральных микромеханических гироскопов и акселерометров с несколькими осями чувствительности.

Улучшить массогабаритные характеристики инерциальных навигационных систем и обеспечить возможность регистрации параметров движения подвижного объекта по шести компонентам возможно применением многоосевых микро- и наномеханических сенсоров. При этом конструкции таких функционально интегрированных гироскопов-акселерометров должны быть полностью интегральными, что позволит исключить операции микросборки, значительно повысить степень интеграции и микроминиатюризации, воспроизводимости характеристик, надежности.

Потенциальными областями применения многоосевых микро- и наномеханических гироскопов-акселерометров являются инерциальные системы навигации, беспилотные автоматические аппараты, автономные системы локального позиционирования, системы стабилизации изображения в цифровых фотоаппаратах, видеокамерах, встроенных камерах сотовых телефонов, автомобильные системы. Многоосевые микромеханические компоненты в составе навигационной системы с GPS-приемником позволяют сохранить точность и непрерывность навигации при потере приема сигнала со спутника.

В рамках данного подхода в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ разработан ряд многоосевых функционально интегрированных микро- и наномеханических гироскопов-акселерометров,

методы и средства их проектирования. На ряд устройств получены свидетельства о регистрации топологий интегральных микросхем.

На основе запатентованных решений и использования собственной технологической базы в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ разработана комплексная технология и изготовлена линейка микро- и наномеханических гироскопов-акселерометров и инерциальных блоков на их основе.

Для расчета изготовленных сенсоров использовался собственный метод проектирования микро- и наномеханических функционально интегрированных гироскопов-акселерометров. В соответствии с предложенным методом проектирования выполнены расчеты топологий сенсоров с учетом оригинальных конструкторско-технологических решений компоновки элементов конструкций, учета взаимовлияния регистрируемых линейных ускорений и угловых скоростей как по осям чувствительности, так и друг на друга, а также квадратурных, температурных и технологических погрешностей. На рисунке 5 – геометрические модели разработанных микро- и наномеханических гироскопов-акселерометров.

На рисунке 6 – результаты моделирования одномассового микромеханического сенсора. Отчетливо видны вынужденные колебания инерционных масс сенсора, вызванные работой электростатических приводов, а также затухающие колебания чувствительных элементов под действием угловых скоростей и линейных их перемещения под действием линейных ускорений.

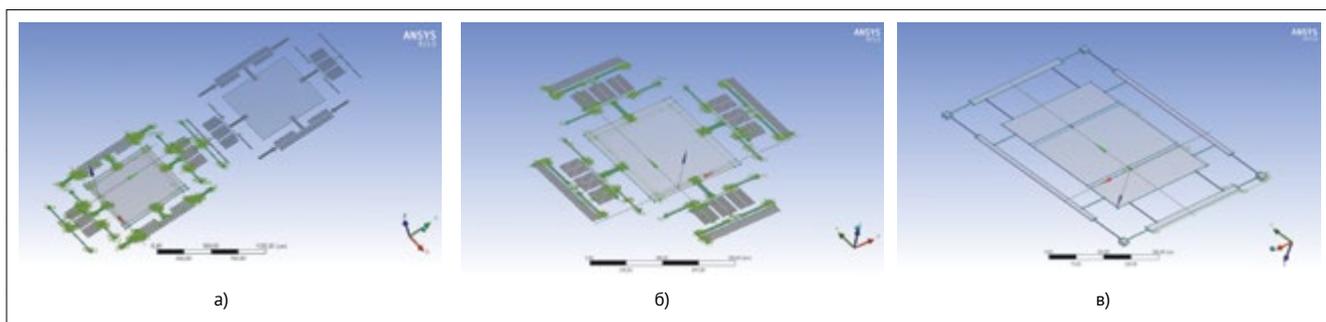
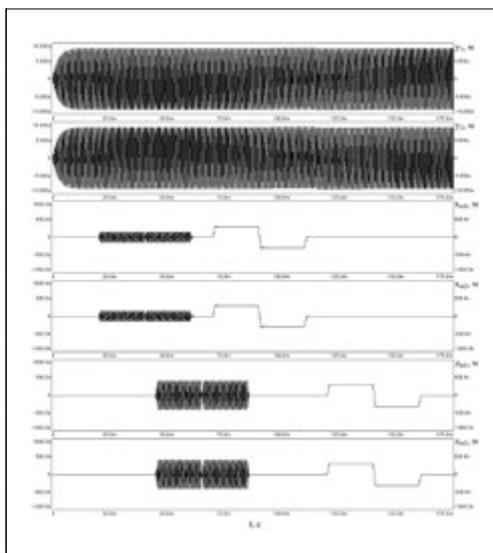


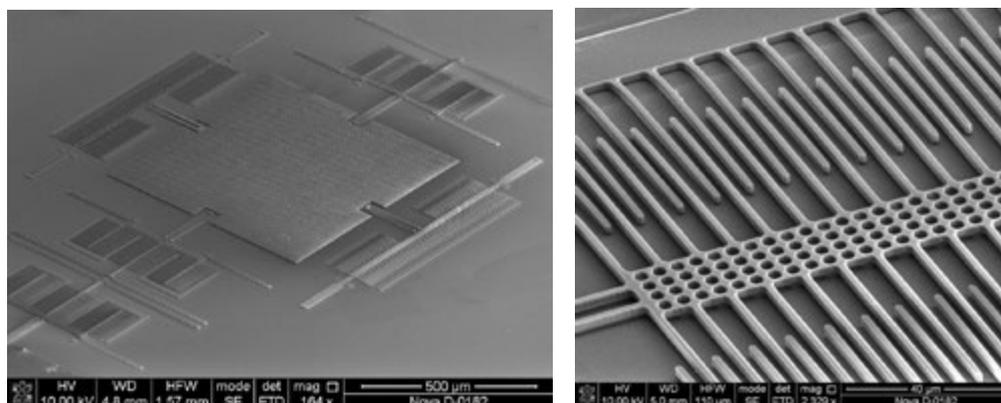
Рис. 5. Геометрические модели чувствительных элементов разработанных микро- и наномеханических гироскопов-акселерометров: а) двухмассового микромеханического сенсора; б) одномассового микромеханического сенсора; в) наномеханического сенсора

Рис. 6. Результаты моделирования одномассового микромеханического сенсора



Особенностями разрабатываемой в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ элементной базы, по сравнению с аналогами, являются повышенные функциональные возможности за счет регистрации угловых скоростей и линейных ускорений по шести компонентам одним сенсором, улучшенные массогабаритные характеристики

Рис. 7. РЭМ-изображения топологии экспериментального образца двухмассового микромеханического сенсора



(в шесть раз по сравнению с гибридными микросистемами и в два раза по сравнению с интегральными микро- и наносистемами, а также уменьшение площади на 30% по сравнению с интегральными микросистемами, занимаемой компонентами на кристалле).

На рисунке 7 – РЭМ-изображение топологии экспериментального образца многоосевого двухмассового микромеханического гироскопа-акселерометра, изготовленного в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ.

На рисунке 8 – РЭМ-изображение топологии экспериментального образца многоосевого одномассового микромеханического гироскопа-акселерометра, изготовленного в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ.

На рисунке 9 – РЭМ-изображение фрагментов топологии экспериментального образца многоосевого наномеханического акселерометра, изготовленного в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ.

На рисунке 10 – макеты инерциальных блоков с экспериментальными образцами многоосевых микромеханических гироскопов-акселе-

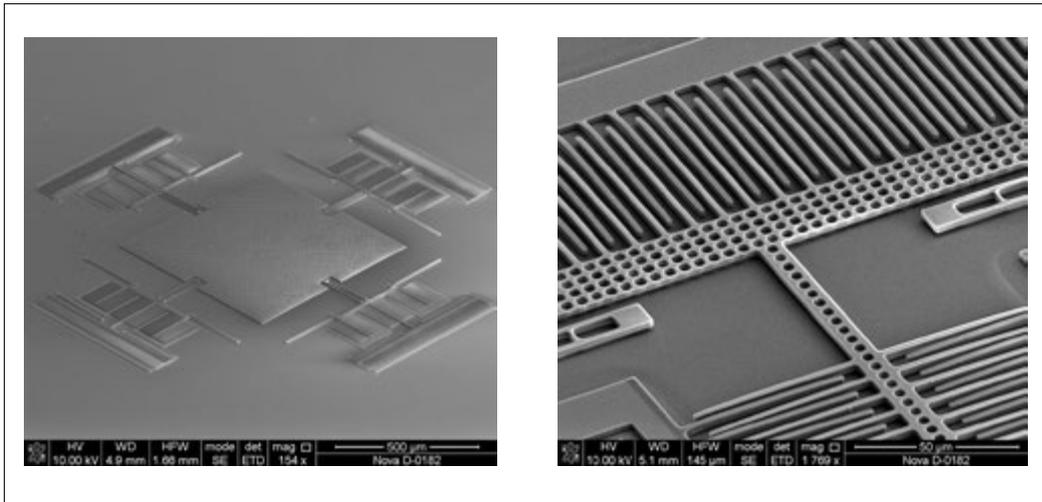


Рис. 8. РЭМ-изображения топологии экспериментального образца одномассового микромеханического гироскопа-акселерометра

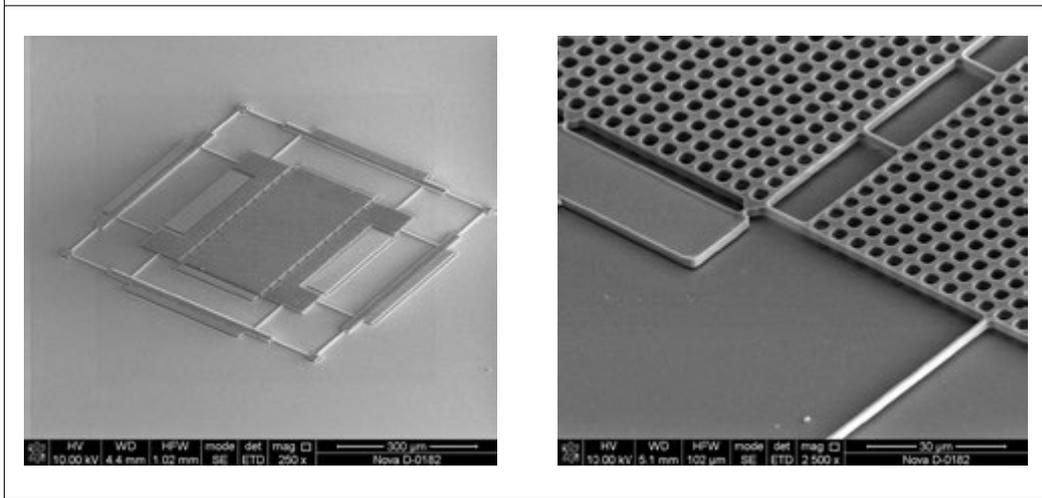


Рис. 9. РЭМ-изображения топологии экспериментального образца наномеханического акселерометра

рометров и наномеханических акселерометров и устройствами обработки их сигналов, изготовленных в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ.

На рисунке 11 – топология разработанного по технологии КМОП 90 нм экспериментально-

го образца цифрового преобразователя «емкость-частота», пригодного для изготовления совместно с микромеханическим сенсором полностью интегрального датчика угловой скорости и ускорения.

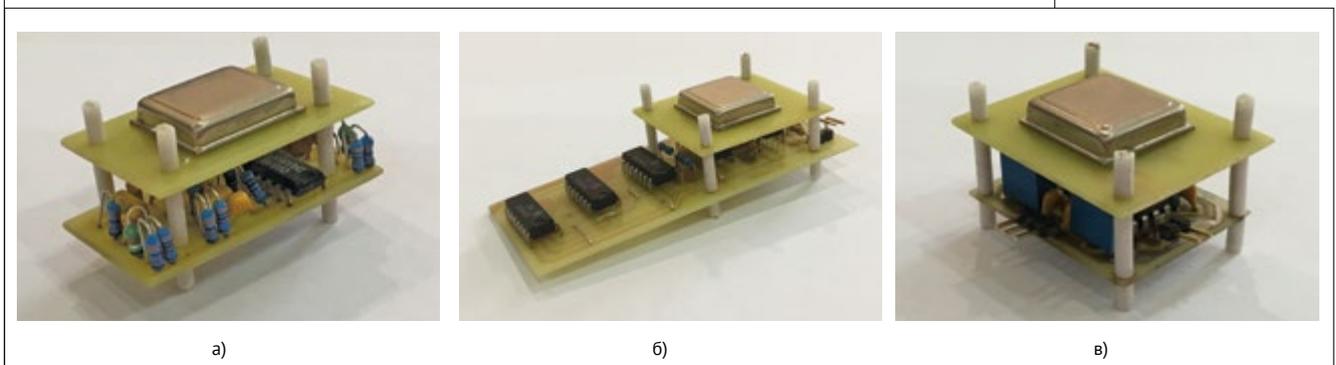


Рис. 10. Макеты инерциальных блоков с экспериментальными образцами на основе: а) двухмассового микромеханического гироскопа-акселерометра; б) одномассового микромеханического гироскопа-акселерометра; в) наномеханического акселерометра

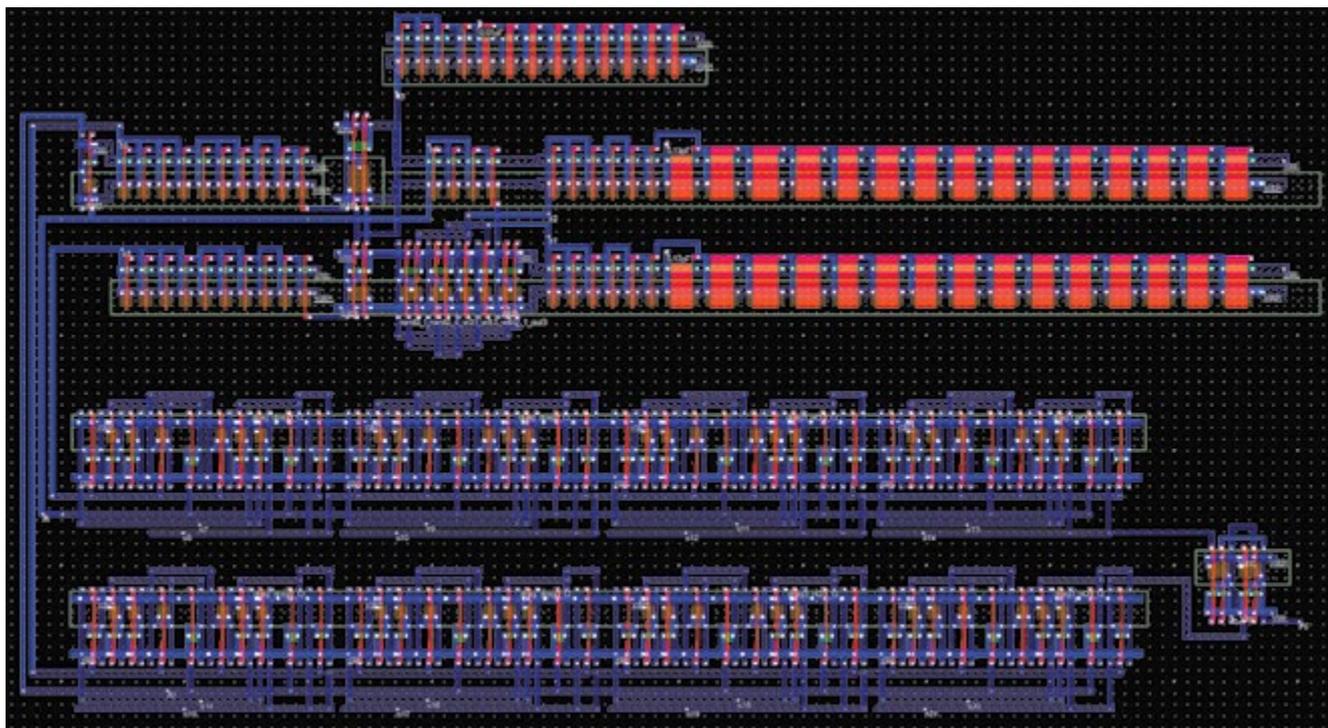


Рис. 11. Топология преобразователя «емкость-частота»

Экспериментальные образцы имеют следующие характеристики:

1. Двухмассовые микромеханические гироскопы-акселерометры и макеты устройств обработки сигналов:

- количество осей чувствительности – 2;
- диапазон измеряемых угловых скоростей – ± 500 град./с;
- чувствительность – 39,6 кГц/пФ на макете и 842 кГц/фФ в интегральном исполнении при коэффициенте нелинейности 1,8%;
- уровень подавления перекрестных помех – не менее 50 дБ;
- отношение сигнал/шум – не менее 20:1;
- напряжение питания – ± 9 В;
- потребляемая мощность – не более 70 мВт.

2. Одномассовые микромеханические гироскопы-акселерометры с перестраиваемыми осями чувствительности и макеты устройств обработки сигналов:

- количество осей чувствительности – 3;
- диапазон измеряемых ускорений – ± 10 g;
- чувствительность – не менее 800 кГц/фФ в интегральном исполнении при коэффициенте нелинейности 1,8%;
- уровень подавления перекрестных помех – не менее 50 дБ;
- отношение сигнал/шум – не менее 10:1;

- напряжение питания – ± 9 В;
- потребляемая мощность – не более 50 мВт.

3. Экспериментальные образцы наномеханических акселерометров и макеты устройств обработки сигналов:

- количество осей чувствительности – 2;
- диапазон измеряемых ускорений – ± 1 g;
- чувствительность – не менее 10 нА/г;
- уровень подавления перекрестных помех – не менее 40 дБ;
- отношение сигнал/шум – не менее 5:1;
- напряжение питания – ± 9 В;
- потребляемая мощность – не более 30 мВт.

Применение разработанных в НОЦ «Нанотехнологии» ЮФУ интегральных многоосевых гироскопов и акселерометров позволит улучшить массогабаритные характеристики систем, построенных на их основе, повысить степень интеграции микроэлектронных и микросистемных устройств, их конкурентоспособность, расширить сферы их применения и провести импортозамещение. ◆

Рисунки 1, 2, 3 и 4 ранее были опубликованы на официальном сайте Группы Yole Développement (фр.). [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.yole.fr>.

Технологии создания и применения цифровой информации

Информационное превосходство над противником – один из решающих факторов успешных действий войск. В современных вооруженных конфликтах с применением управляемого высокоточного оружия его значение нарастает стремительно, особенно когда речь идет о ведении боевых действий на тактическом уровне и контрбатареинной борьбе. В руководстве ВС США уверены, что войны в новом столетии выиграет тот, кто превзойдет противника в скорости и полноте сбора данных о постоянно меняющейся обстановке, предупредит его во всеобъемлющем и разностороннем анализе многоплановых сведений, в выработке обоснованных решений и постановке оптимальных боевых задач.

Среди основных видов данных, без которых невозможно управление войсками и оружием, важное место принадлежит цифровой информации о местности (ЦИМ). В нее входят топографические и специальные карты, пространственные модели местности, планы сложных объектов – аэродромов, портов, баз, позиционных районов и населенных пунктов, фото- и видеодокументы космической, воздушной разведки, а также дистанционного зондирования Земли.

В ОИПИ НАН Беларуси на основе ГИС-технологий, геоинформационных систем (ГИС ВН), других методов цифровой обработки изображений разработаны технологии и программные средства обработки пространственных данных, поддержки принятия решений. Они переданы на белорусское головное предприятие ООО «Мидивисана», выпускающее подвижные комплексы для Вооруженных сил и других силовых ведомств Республики Беларусь:

- специализированное программное обеспечение (СПО) подвижного навигационно-топографического комплекса (ПНТК);
- СПО подвижного навигационно-геодезического комплекса (ПНГК);
- программно-информационный комплекс (ПИК) поддержки принятия решений в части специальных задач анализа оперативно-тактических свойств местности (ГИС-ВН);
- ПИК «Издание» автоматизированной подготовки карт к изданию на основе цифровых карт местности (ЦКМ);
- программные средства подвижного полиграфического комплекса (ППК).

БАЗОВОЕ ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ И КОМПЛЕКСОВ

Технологии всех разрабатываемых комплексов и систем реализованы на основе базового информационного обеспечения в единой информационно совместимой с существующими комплексами системе получения, обработки, хранения, предоставления и использования сведений.

Это информационное обеспечение включает:

- базы данных ЦИМ и ЦКМ;
- систему классификации и кодирования картографической информации, объектов оперативно-тактической обстановки (ОТО);
- классификатор справочно-технологических параметров ЦКМ;
- таблицы соответствия объектов ЦИМ форматов F20S и SXF;
- правила формирования пространственно-логических связей (ПЛС) между объектами ЦКМ;

СЕРГЕЙ КРУГЛИКОВ,
заместитель
генерального директора
Объединенного
института проблем
информатики
Национальной академии
наук Республики
Беларусь (ОИПИ НАН
Беларуси) по научной
и инновационной
работе, доктор военных
наук, доцент,
член-корреспондент
Академии военных наук
Российской Федерации

**АЛЕКСАНДР
КРЮЧКОВ,**
заведующий
лабораторией
картографических
систем и технологий
ОИПИ НАН Беларуси

- правила цифрового описания объектов;
- библиотеки, условные знаки, форматы представления цифровых данных, требования к системе отображения электронных карт и планов.

В БИО осуществляется интеллектуальная обработка разнородных данных: векторных и растровых карт, матриц высот рельефа и местности, цифровых снимков, объектов оперативно-тактической обстановки (ОТО), текстовых формализованных и неформализованных документов.

Систему классификации и кодирования картографической информации образуют классификаторы разнородных объектов топографических, обзорно-географических, аэронавигационных карт, топографических планов местности, городов и населенных пунктов, сложных объектов, а также комплексы признаков с возможными их значениями.

Классификатор объектов ОТО регламентирует создание и содержание пользовательских слоев, необходимых при решении оперативно-тактических задач.

Правила цифрового описания объектов позволяют однозначно интерпретировать их метрическое представление на всех этапах, включающих определение местоположения, формы и ориентации. Систему условных обозначений образуют библиотеки условных знаков топографических и специальных карт, планов городов, а также объектов ОТО.

Хранение и обработка ЦИМ и объектов ОТО установлены в формате F20S, разработанном в 80-х годах совместно с 29-м НИИ МО СССР и модифицированном для решения основных картографических и прикладных задач создания и обновления ЦКМ, в том числе по данным дистанционного зондирования Земли, автоматизированной подготовки цифровых карт к изданию, составления топографических карт базового и производного масштабов.

Цифровая карта в формате F20S представлена четырьмя файлами (паспорта ЦКМ, справочная информация об объектах ЦКМ, метрики и семантики объектов). Справочный файл состоит из записей фиксированной длины, упорядоченных по идентификаторам

объектов для прямого доступа к их описанию. Формат обеспечивает хранение ПЛС различного вида в семантике объектов через характеристики описания ПЛС, в которой указан индекс библиотеки условных знаков, их номеров для визуального представления в электронной карте (ЭК).

ОБРАБОТКА ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ДАННЫХ

Технологии обработки и документирования пространственных данных в указанных выше комплексах определяются решаемыми задачами и включают в свой состав три комплекса технологических процессов: составление и подготовка карт к изданию, формирование фотодокументов по данным космической и воздушной съемки, в том числе беспилотными летательными аппаратами (БЛА), и отчетных документов по результатам решения специальных задач.

Подготовка к изданию топографических и специальных карт осуществляется средствами ПИК «Издание» классическими методами автоматизированной подготовки карт к изданию в соответствии с требованиями «Руководства по картографическим и картоиздательским работам». Все элементы издательского оригинала формируются автоматически. Встроенный редактор позволяет убрать неточности. При необходимости цифровая модель издательского оригинала конвертируется в формат postscript для выполнения отдельных видов работ в пакете Adobe Illustrator. ЦКМ для их подготовки к изданию поступают из базы данных ЦИМ, ЦКМ и аналоговых материалов (карт, фото-, видеодокументов, списков геодезических пунктов), которая в различной функциональной наполняемости установлена в подвижных и стационарных комплексах.

Обработка фотодокументов по данным, полученным с БЛА и занесенным в базу данных ЦИМ, проводится с помощью цифровой фотограмметрической системы из состава СПО ПНТК. Результаты также вносятся в базу данных ЦИМ. Цифровые фотодокументы могут быть распечатаны либо используются в ГИС-ПНТК для решения задач по оперативному анализу местности.

Единую технологическую цепочку подвижного навигационно-геодезического комплекса (ПНГК) образуют:

- комплекс оперативной оптико-электронной разведки местности;
- базы данных ЦКМ и результатов разведки;
- геоинформационная система подвижного навигационно-геодезического комплекса (ГИС-ПНГК), обеспечивающая решение расчетных и информационных задач с использованием ЭК, визуализацию результатов разведки и собственного положения ПНГК по данным интегрированной навигационной аппаратуры.

Комплексная обработка разнородных данных осуществляется в ГИС военного назначения (ГИС-ВН) или ее модификациях ГИС-ПНТК и ГИС-ПНГК. Для решения задач по анализу оперативно-тактических свойств местности в ГИС-ВН реализована комплексная обработка ЦИМ – цифровых векторных и растровых топографических и специальных карт, объектов ОТО, цифровых снимков и фотодокументов, матриц высот

рельефа и местности, текстовых документов (каталоги геодезических пунктов, опасных объектов и др.). Анализ выполняется в пределах номенклатурного листа ЦКМ или в пределах произвольного района, состоящего из множества разномасштабных карт.

Традиционный перечень средств измерений, подготовки справочных материалов, формирования номенклатуры листов, визуализации карт и снимков в различных режимах дополнен специальным программным обеспечением анализа свойств и определения типа местности по характеру рельефа, степени пересеченности и проходимости, условиям маскировки и наблюдения, выбора площадок в соответствии с заданными требованиями, определения оптимального по времени и расстоянию пути с учетом характеристик дорожной инфраструктуры, типов местности и ограничений, получения расширенных справок о местности, их корректировки, нанесения и редактирования оперативно-тактической информации, составления специальных карт,

Рис. 1.
Автоматизированные рабочие места подвижного навигационно-топографического комплекса



вых снимков, определение типа местности по характеру рельефа, построение 3-D моделей и профилей рельефа, формирование матриц высот местности и рельефа, определение характеристик склонов, скатов, пересеченности и проходимости для техники, условий маскировки и наблюдения, расчет зон видимости, построение буферных зон, зон затоплений, поиск пространственной смежности и ближайшего соседа, расчет кратчайших расстояний, поиск областей, удовлетворяющих заданным требованиям и другие функции;

- ввод, редактирование, ведение разнородных данных оперативно-тактической обстановки на ЭК, реализующей функции создания, поддержки слоев и объектов ОТО по видам обеспечения, создания новых сложных объектов путем группирования отдельных элементов, редактирования объектов ОТО, перемещения объекта и групп объектов по заданному вектору и расстоянию и другие функции;
- определение запаса топографических карт, получение расширенных справок о местности, составление специальных карт гео-данных, условий проходимости, маскировки, препятствий и других;
- оформление отчетных документов по результатам моделирования, выполнения специальных задач;
- подготовка графических документов по задачам управления войсками и оружием при выполнении боевых задач;
- аналитическое и информационное вычисление статистических характеристик, расстояний между заданными объектами по видимой прямой с учетом рельефа, размеров и площадей объектов, координат и абсолютных высот в произвольных точках, определение пространственных отношений объектов, поиск объектов по заданным статистическим, семантическим и метрическим ключам, получение информации по объекту, группе объектов.

Часть из перечисленных выше задач показана на рисунках 2–4.

Комплекс выполнен в кросс-платформенном исполнении для операционных систем Windows



и Linux и обеспечивает многопользовательский режим работы.

Программно-информационный комплекс «Издание»

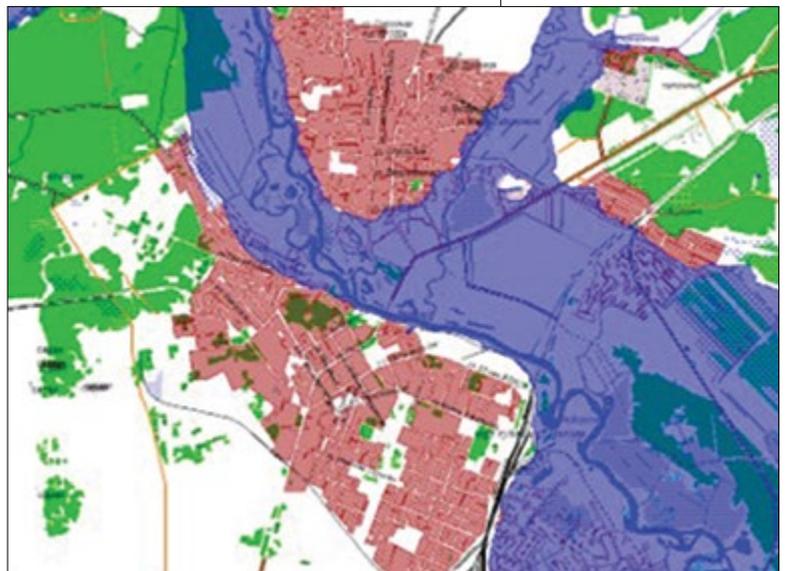
ПИК «Издание» разработан на основе «Руководства по картографическим и картоиздательским работам», часть 1 – «Составление и подготовка к изданию топографических карт».

С применением ПИК «Издание» осуществляется:

- автоматизированное решение задач формирования математической основы карт, электронных издательских оригиналов (ИО)

Рис. 3. Анализ и построение профиля рельефа по направлению

Рис. 4. Расчет и визуализация зоны затопления



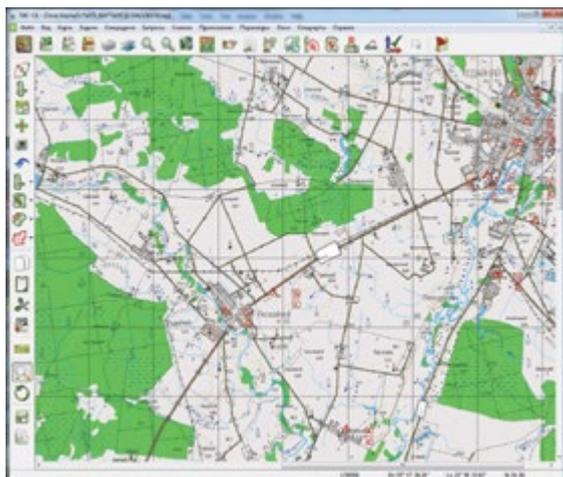


Рис. 5.1. Карта искусственных препятствий

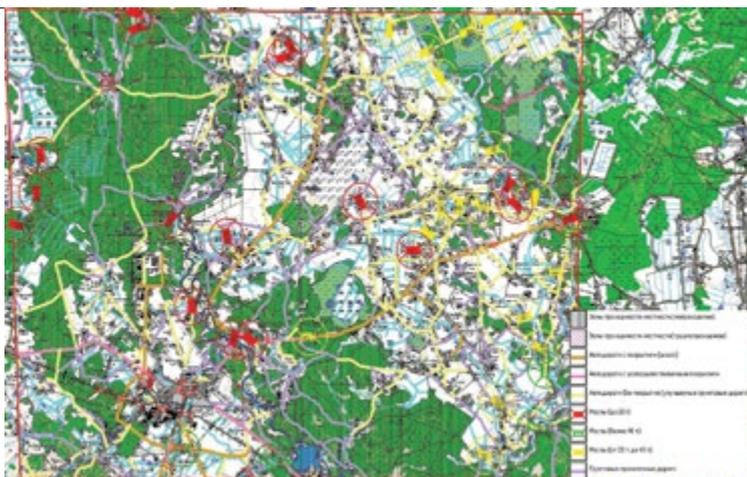


Рис. 5.2. Карта проходимости маршрутов

Рис. 5. Специальные карты

- топографических и обзорно-географических карт в принятых условных знаках и подписях;
- создание и редактирование библиотек условных знаков, справок о местности, слов гипсометрической окраски, зарамочного оформления и формуляров ИО;
- редактирование ИО с помощью встроенного редактора;
- получение цветных контрольных копий ИО;
- подготовка и вывод ИО и их контрольных копий на технические средства графического документирования;
- создание комплектов цветоделенных ИО в формате Postscript;
- получение ИО, расчлененных по цветам издания, абриса, совмещенных ИО.

Специальное программное обеспечение подвижного полиграфического комплекса

СПО ППК эксплуатируется частями навигационно-топографической службы Вооруженных сил Республики Беларусь в полевых условиях для решения следующих задач обеспечения войск и штабов топогеодезической информацией в электронном виде и на материальной основе:

- составление специальных карт военного назначения: путей сообщения, геодезических данных, искусственных препятствий, участков рек, условий проходимости других, два образца которых показаны на рисунках 5.1. и 5.2.;

- формирование расширенных справок о местности;
- решение специальных задач по ЭК (расчет запасов топографических карт, анализ местности, расчет оптимального маршрута и другие);
- формирование и ведение банка данных ЦИМ и полиграфической продукции;
- решение учетно-операционных задач;
- подготовка к изданию топографических и специальных карт военного назначения.

СПО ППК информационно совместимо с аналогичными системами Российской Федерации и поддерживает классификаторы картографической информации, правила цифрового описания объектов и осуществляет конвертацию данных в формат SXF.

Развитие в ОИПИ НАН Республики Беларусь методов, в том числе интеллектуальных, обработки картографической и топогеодезической информации, материалов оптико-электронного зондирования земной поверхности, космической и воздушной разведки позволяет создавать современные технологии и аппаратно-программные комплексы оперативной обработки ЦИМ с разнообразными свойствами и высокими характеристиками, необходимыми в практике боевого управления. Это позволяет использовать их совместно с разнородной оперативно-тактической, разведывательной, метеорологической и другой информацией в задачах обеспечения управления войсками и применения автономного высокоточного управляемого и неуправляемого оружия. ◆

Однокомпонентная оптическая система дополненной реальности авиа- и автобазирования

В журнале «Фазотрон» № 1-2 (15) 2011 и № 3 (19) 2012 авторами были рассмотрены в ретроспективном плане тенденции развития систем управления движением воздушного, морского и наземного транспорта, комплексов обеспечения безопасности и мониторинга окружающего пространства. В частности, проанализированы особенности применения кабинных индикаторных систем отображения вторичной информации (в англоязычной литературе HUD или Head-up-Display, то есть дисплеев, в которые смотрят с поднятой головой, не опуская взгляд на приборную панель), сформулированы и систематизированы композиционные и технические требования к системам отображения и их элементам. Определены характер и направления развития кабинных индикаторов коллиматорного типа комплексов авионики и средств автобазирования. Представлено большое количество схемных и композиционных решений с использованием современных функциональных узлов. Изложен ряд ключевых требований к системам отображения вторичной информации, в общем виде проиллюстрирована методика расчета оптики таких систем с применением электронной компенсации дисторсии (искажения формы и размеров изображения) в случае работы с большими для таких систем угловыми полями зрения (более 15°).

Необходимо напомнить, что в системах отображения вторичной информации передаваемое наблюдателю (пилоту, водителю, оператору и т.п.) изображение накладывается непосредственно на видимую обстановку, но должно четко

различаться на ее фоне. Сложение изображений осуществляется за счет светоделительного оптического элемента, называемого комбинером. Важно, чтобы комбинер обладал высоким значением интегрального коэффициента пропускания светового потока (порядка 80%) и обеспечивал наблюдение информационного изображения на фоне окружающей обстановки без существенного ослабления. В то же время яркость информационного изображения должна быть достаточной для наблюдения.

В системе HUD существует некоторая область в пространстве, из которой все поле зрения канала индикации должно быть видимо при наблюдении двумя глазами. Желательно, чтобы эта область имела возможно большие размеры и была расположена вокруг комфортного положения глаз наблюдателя. Практически размер области наблюдения (входного зрачка) в индикаторных системах комплексов авионики достигает величины порядка 120x90 мм². Как показано в вышеуказанных публикациях, оптические системы для ввода в поле зрения наблюдателя рабочей информации через светоделительные элементы могут строиться на базе линзовых (зеркально-линзовых) элементов или же их комбинации с голограммными элементами, в большинстве своем реализованными в системе комбинера, что в настоящее время практически превалирует в патентной литературе.

Следует сказать, что, как правило, оптические системы HUD, работающие со светоделительными компонентами при значительных полях, относятся к классу систем с децентри-

АЛЕКСАНДР БАГДАСАРОВ,
ведущий научный сотрудник
АО «Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова»,
кандидат технических наук

ОЛЬГА БАГДАСАРОВА,
доцент
Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики, кандидат технических наук

рованными элементами, то есть систем с внеосевым смещением линз или групп линз, наклоном (разворотом) некоторых поверхностей или линз. Кроме того, в оптических системах HUD с большими полями зрения по определению существует наклон изображения. Это приводит к необходимости в ряде случаев еще и разворота излучающей поверхности матрицы.

Известно, что устройства отображения вторичной информации, зародившись в авиации, с начала 2000-х годов реально стали устанавливаться на представительских автомобилях иностранных марок. Причем идеологически большинство устройств напоминают схемы авиабазирования и так же размещаются над головой или в пространстве приборной панели.

Как правило, простейшие системы HUD, устанавливаемые на приборной панели и имеющие один оптический элемент, квалифицируются как автосопутствующие товары и выполняют в основном функцию навигатора. В то же время следует, однако, признать, что стационарные устройства отображения вторичной информации авиабазирования при меньшем количестве по сравнению с HUD авиабазирования элементов композиционно являются достаточно простыми системами, содержащими сложные функциональные узлы.

Так, согласно конфигуратору на официальном сайте автомобилестроительной корпорации BMW, стоимость HUD совместно с навигацион-

ной системой Professional с жестким диском и пакетом услуг BMW Connected Drive составляет в российских рублях от 300 000 руб. до 400 000 руб. (в ценах 2018 г.).

Высокая стоимость устройств определяется дороговизной составляющих их элементов, и, в первую очередь, трех децентрированных зеркал с асферическими отражающими поверхностями высокого порядка, размещенных в пространстве внутри приборной панели. Совместно с лобовым стеклом, форма внутренней и внешней поверхностей которого, как правило, в первом приближении является торической, линзовым защитным элементом (возможно, и асферическим) между пространством автосалона и внутренним пространством приборной панели они составляют композицию оптической схемы такого устройства для отображения вторичного изображения. Следует отметить, что форма лобовых стекол каждой отдельной модели может быть индивидуальной. Необходимо упомянуть, что, как правило, каждая компания-производитель имеет свой самостоятельный ряд форм лобовых стекол.

В подобных системах угловое поле зрения весьма невелико и для прямоугольного изображения не превышает $4,5^\circ \times 2,5^\circ$ при линейном увеличении порядка $3^\times - 4^\times$. Видимое увеличение, как правило, меньше 1^\times . Размеры зрачковой зоны в окрестностях лица водителя достаточно большие и достигают величины порядка $300 \times 300 \text{ мм}^2$.

Поэтому трудно признать такой вариант комплектации оптимальным и экономически легкодоступным. Но, возможно, он приемлем для дорогостоящих автомобилей.

В связи с этим в мире появилось большое количество простых устройств отображения вторичной информации в пределах небольших угловых полей зрения с достаточно удовлетворительным качеством изображения, в частности HUD с однокомпонентным оптическим элементом, применяемых для управления движением не только в наземном транспорте.

На рисунке 1 представлено фото HUD надголовного размещения в салоне автомобиля с однокомпонентным комбинером. Одним из главных достоинств данного аппарата можно назвать его удобное крепление в салоне: ди-

Рис. 1. Проекционный дисплей «Navgate HUD spx-hud01» компании «Pioneer» для автомобильной навигации с использованием смартфона



сплей прикрепляется к солнцезащитному козырьку над рулем. Компания «Pioneer» использовала здесь DLP-проектор, который формирует изображения высокой контрастности и цветовой насыщенности, создает визуальный эффект экрана в 30 дюймов, который расположен всего в трех метрах перед водителем. Дисплей совместим практически со всеми смартфонами, которые можно подключить через USB-разъем и, загрузив необходимым приложением, использовать в управлении движением автомобиля.

Известны и другие конструкции подобных HUD, крепление которых производится в ином месте над головой водителя.

Очевидно, что в таких устройствах более нет оптических элементов, так как если бы их было больше и размещались бы они, например, в корпусе до комбинера, то размеры корпуса были бы значительны. Несмотря на большую распространенность подобных устройств, однозначного ответа на вопросы, касающиеся их тактико-технических характеристик, в литературных источниках обнаружить не удалось.

Это вопросы об оптимальном соотношении углового поля и размеров зрачковой зоны, о величине видимого увеличения при достигнутом линейном увеличении в оптимальных эргономических границах, о влиянии асферизации, о значениях параллактических искажений (различий проекций трехмерного пространства на сетчатку левого и правого глаза).

Вместе с тем необходимость освещения поставленной темы диктуется как академическим интересом, так и потребностью производства и внедрения устройств рассматриваемого типа во всевозможные системы управления движением различных носителей.

Сформулированные вопросы рассмотрены авторами в настоящей статье путем исследований, базирующихся на среднестатистических условиях работы надголовного HUD наземного базирования.

Итак, исходя из эргономических соображений, элементы надголовного HUD следовало бы разместить следующим образом:

1. Дисплей смартфона или другую излучающую площадку расположить выше глаз водителя по центру системы примерно на 200–300 мм при среднестатистическом расстоянии от глаз

наблюдателя до его макушки порядка 130 мм, как сказано в Квалификационных требованиях к индикаторам на лобовом стекле.

2. Комбинер со светоделительным покрытием не должен находиться на близком расстоянии от лица водителя. В ряде случаев его крепят на лобовое стекло. Расстояние от комбинера до глаз водителя (зрачковой зоны) примерно от 400 мм до 600 мм.

3. В автомобиле при использовании HUD-системы было бы целесообразным создавать мнимое изображение в районе капота или на большем расстоянии в поле зрения водителя, т.е. на расстоянии от 1,5 м до 5–6 м от лица водителя в зоне аккомодации его глаз в процессе движения автомобиля. Однако наиболее правильным было бы считать эту величину порядка 6 м, поскольку в процессе движения автомобиля именно на это расстояние на дороге аккомодирует глаз водителя при управлении автомобилем.

4. Разъединение формирующего изображения и наблюдательного каналов производится разворотом комбинера вокруг вершины вогнутой поверхности, на которую нанесен светоделительный слой.

Следует отметить, что спектральные диапазоны излучения генераторов изображений современных HUD ограничиваются в основном зеленой или оранжевой областью с полушириной спектра 8–12 нм. Таким образом, полоса пропускания комбинера теряет лишь часть цвета, и изображение ландшафта видится в цвете, но только с некоторым незначительным посерединением.

Эти моменты обеспечивают высокие значения интегрального коэффициента отражения и пропускания световых потоков комбинером, но неизбежно приводят к необходимости формирования его светоделительного слоя из 25–30 и более диэлектрических покрытий.

Воспользовавшись в первом приближении формулами идеальной оптической системы, нетрудно определить параметры однокомпонентной системы, состоящей из менисковой линзы с первой светоделительной поверхностью, обращенной вогнутостью к наблюдателю и излучающему дисплею. Радиус второй, преломляющей поверхности комбинера для обеспечения афокальности системы в проходящем ходе свето-

вых лучей, как правило, ненамного должен отличаться от значения радиуса первой поверхности комбинера. Поэтому на предварительном этапе расчета его можно не принимать во внимание.

Предварительные значения фокусного расстояния f' и радиуса R светоделительной поверхности при выбранных расстояниях от комбинера до излучающей площадки $s = -500$ мм и от комбинера до мнимого изображения объекта, воспроизводимого на излучающей площадке $s' = 5000$ мм, будут определяться выражениями:

$$f' = \frac{s's}{s' + s},$$

$$R = 2f'$$

и будут равны $f' = -555,55$ мм, $R = -1111,11$ мм.

Полагая в системе формат экрана генератора изображения (либо дисплея смартфона) 5 дюймов (127 мм по диагонали, или $110,7 \times 62,3$ мм² – при соотношении сторон 16:9), линейное увеличение в направлении от водителя по ходу движения $\beta = -s'/s = 10^x$ и, исходя из формулы

$$\beta = \frac{y'}{y}$$

где y и y' соответственно – размер полудиagonали дисплея и его мнимого изображения комбинером, величина изображения диагонали дисплея определится как $2y' = 1270$ мм.

В процессе оптимизации оптической однокомпонентной системы HUD этот размер, естественно, изменится, поскольку расстояние от комбинера до образованного им мнимого изо-

бражения дисплея, принятое в качестве одного из коррекционных параметров, будет меняться в процессе коррекции. Находясь в границах допуска на это расстояние (порядка $\pm 0,5$ м), необходимо придерживаться принятого соответствия между величинами s, s', β, y и y' и z , где z – расстояние от зрачковой зоны до комбинера.

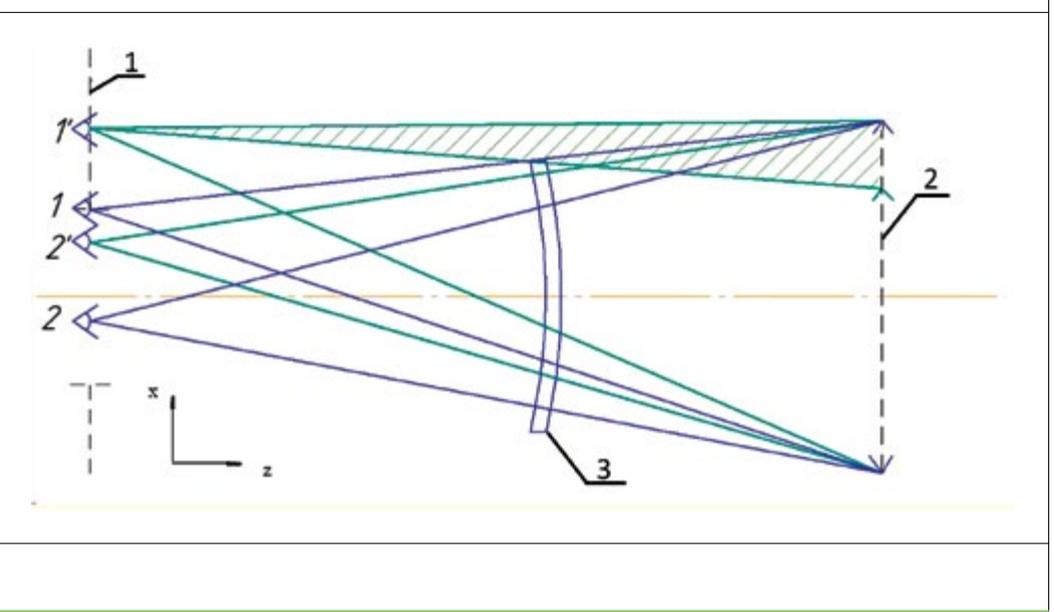
Примем, что размеры прямоугольного комбинера не должны превышать величин 190×80 мм², что по диагонали будет соответствовать 206 мм. Увеличивать размеры комбинера нецелесообразно, поскольку возрастание габаритов системы негативно скажется на ее весе и эргономичности. Вес комбинера такого размера, выполненного из органического материала, будет незначительным и не отяготит конструкцию.

Запомним, что все лучи от источника изображения – смартфона или дисплея – не должны миновать комбинер.

Определение размеров зрачковой зоны необходимо производить, исходя из следующих соображений:

- в данной системе материальная диафрагма отсутствует, однако, если глаза наблюдателя перемещать в горизонтальном направлении (в направлении X), то, начиная с некоторого момента, один из глаз не будет видеть все поле, а наблюдать только часть его; это обусловлено размерами комбинера;
- для того, чтобы определить максимально возможный размер зрачковой зоны при условии,

Рис. 2. Определение величины зрачковой зоны при наблюдении двумя глазами.
1 – зрачковая зона,
2 – рассматриваемое изображение,
3 – комбинер



когда левый глаз перестанет наблюдать хотя бы 30% от всего поля, воспользуемся вообразимым перемещением, допустим, левого глаза 1 совместно с правым глазом 2 по горизонтали до положения 1' и 2' (рисунок 2).

В таблице 1 приведены данные по определению допустимых размеров зрачковой зоны в системе при заданных выше условиях.

В левом столбце таблицы указаны значения координат левого глаза в горизонтальном направлении (по оси X), которым соответствуют еще видимые глазом координаты половины линейного поля в пространстве мнимого изображения, приведенные в правом столбце таблицы. В соответствии с размером большей стороны дисплея, направленной вдоль оси X и равной 110,7 мм, линейным увеличением $\beta = 10^{\times} X_{\max} = 554$ мм.

Для правого глаза предельный размер зрачковой зоны будет таким же, так как система симметрична.

За величину максимально допустимой величины зрачковой зоны разумно принять то положение глаз наблюдателя (левого или правого), которое соответствует моменту исчезновения стереоскопического видения.

Максимально допустимое значение зрачковой зоны по оси X будет соответствовать крайнему положению левого (или правого при перемещении в противоположную сторону) глаза, при котором глаз видит только половину наблюдаемого изображения в горизонтальном направлении (левый глаз – правую, правый – левую), и равно 394 мм (таблица 1).

Предельные значения координат левого глаза по оси X, мм	Размер линейного поля в пространстве изображения по оси X, мм
145	Xmax
159	0.7Xmax
178	0.3Xmax
197	0

В зоне, охватываемой обоими глазами, будет наблюдаться стереоскопическое изображение. В общей сложности отсутствие стереоскопического эффекта для периферийных зон поля не приводит к потере информативности, поскольку детализация видения изображения каждым глазом не теряется.

В процессе движения транспортного средства водителю постоянно приходится подстраиваться к условиям комфортного наблюдения в пределах зрачкового пространства, ориентируясь на его центральную зону, но не теряя целостности наблюдаемого изображения.

Достаточность размеров зрачковой зоны HUD автобазирования определялась величиной 75x40 мм². В рассмотренном выше примере предельные размеры этой зоны намного превосходят приведенные в источнике.

Очевидно, для комфортного наблюдения зрачковая зона может быть ограничена достаточной величиной 200 мм по диагонали при условии сохранения в ее рамках среднестатистической предельной разрешающей способности глаза человека в пределах 1 угловой минуты.

Таблица 1. Зависимость величины зрачковой зоны от размеров линейного поля в пространстве изображений

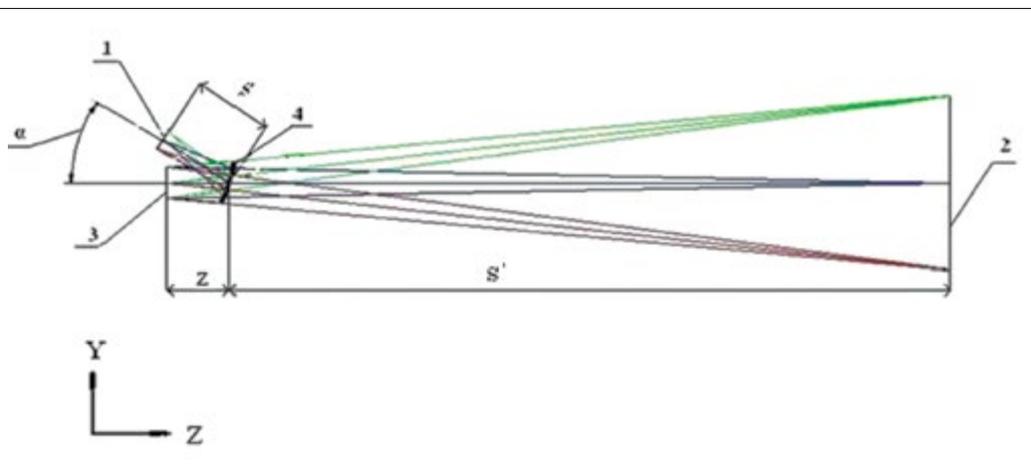


Рис. 3. Оптическая система однокомпонентного HUD с трассировкой хода оптических лучей

В этом случае при значении размера зрачковой зоны в вертикальном направлении, равном, допустим, 75 мм по вертикали, величина зрачковой зоны в горизонтальном направлении будет равна 185 мм, что ощутимо больше вышеприведенных значений.

Сформулированные выше условия достаточны для проведения оптимизации системы однокомпонентного HUD, однако следует отметить, что перечень коррекционных параметров ограничен их малым количеством: фокусным расстоянием (радиусом) зеркальной поверхности, изменением расстояний s, s', z , разворотом комбинера и плоскости изображения вокруг оси X, возможной асферизацией отражающей поверхности.

Необходимо подчеркнуть, что при выбранном условии оценки качества оптической системы расчет ее целесообразно вести в обратном ходе световых лучей (от мнимого изображения к зрачковой зоне), определяя расходимость лучей ϵ' в угловой мере (в минутах) по формуле

$$\epsilon' = 3400 \frac{\delta'\beta}{s' + z},$$

где δ' – диаметр светового пятна рассеяния в изображении точки в обратном ходе световых лучей на объекте (дисплее генератора изображений).

Величина полевого угла в пространстве изображений ($2\omega'$) при этом определится по формуле

$$2\omega' = 2\arctg \frac{y'}{s' + z}$$

На рис. 3 представлена рассматриваемая оптическая система с трассировкой хода оптических лучей, где 2 – мнимое изображение экрана дисплея 1 комбинером 4, наблюдаемое в пределах зрачковой зоны 3. Угол α – угол раз-

ворота комбинера вокруг вершины светоделительной поверхности.

После оптимизации обозначенные на рисунке параметры приняли значения:

$s = -514$ мм, $s' = 4469$ мм, $z = 476$ мм, $\alpha = 15^\circ$. Радиус комбинера и линейное увеличение при этом стали равными соответственно $R = -1150$ мм и $\beta = 7.78x$. Размер y' рассматриваемого мнимого изображения половины диагонали дисплея при данном увеличении будет равен $y' = 494$ мм.

Исходя из приведенных величин, расстояние от центра дисплея до центра зрачковой зоны будет равно 257 мм, а сам дисплей будет находиться впереди головы водителя на расстоянии 31 мм, что не противоречит Квалификационным требованиям.

Видимое увеличение системы (Γ) определяется как отношение тангенса угла γ' , под которым наблюдатель видит изображение объекта при рассматривании его через оптический прибор, к тангенсу угла γ , под которым объект может быть виден невооруженному глазу наблюдателя. В данном случае при расстоянии от наблюдателя до дисплея с диагональю 5", например, дисплея навигатора в кабине автомобиля, равном величине порядка 600 мм, видимое увеличение будет равно $\Gamma \approx 1x$. Эта величина Γ обеспечивает выполнение условия естественного впечатления в отличие от системы автомобилостроительной корпорации BMW.

В таблицах 2 и 3 представлен сравнительный анализ аберраций (отклонений от гомоцентричности световых пучков) системы в угловой мере с максимальными размерами выходных зрачков 200 мм (диаметр зрачковой зоны) и 4 мм до оптимизации и после. Величина выходного зрачка 4 мм соответствует среднестатистиче-

Таблица 2. Сравнительный анализ аберраций системы с диаметром выходного зрачка 200 мм до оптимизации и после

Размер предмета, ориентированного по оси X (Y), Мм	Аберрации системы в угловой мере до оптимизации, мин.	Аберрации системы в угловой мере после оптимизации, мин.
494	99 (101)	67 (85)
349	98 (100)	70 (84)
0	97 (96)	72 (72)
-349	98 (78)	70 (54)
-494мм	99 (66)	67 (37)

Таблица 3. Сравнительный анализ aberrаций системы с диаметром выходного зрачка глаза 4 мм до оптимизации и после

Размер предмета, ориентированного по оси X (У), Мм	Аберрации системы в угловой мере до оптимизации, мин.	Аберрации системы в угловой мере после оптимизации, мин.
494	0,88 (1.80)	0,72 (1.0)
349	0,87 (1.53)	0,65 (0.86)
0	0,86 (0.90)	0,56 (0.56)
-349	0,87 (0.96)	0,65 (0.43)
-494	0,88 (1.0)	0,72 (0.43)

скому значению диаметра зрачка человеческого глаза в условиях умеренного освещения. Этот размер зрачка принят для оценки качества изображения рассматриваемой оптической системы в процессе перемещения глаза наблюдателя в пределах зрачковой зоны.

Аберрации рассчитаны соответственно размерам объекта в пространстве предметов в обратном ходе световых лучей, последовательно ориентированного вдоль координатных осей X и У. В скобках указаны величины при ориентировке предмета вдоль оси У.

Из таблиц видно, что при ориентации предмета вдоль оси У значения aberrаций в его пределах несимметричны относительно нулевой величины предмета. Это обстоятельство подтверждает вывод авторов о возникновении в децентрированных системах, к которым относится и рассматриваемая в настоящей статье, aberrации наклонного астигматизма, вызванного наклоном изображения вследствие разворота комбинера.

Следует добавить, что величина этой aberrации растет с увеличением угла наклона комбинера, причем, как показывают расчеты, значения угловых aberrаций системы с максимальным углом α для центральных и периферийных зон зрачкового пространства для различных точек поля многократно превышают aberrации соответствующих зон при $\alpha = 0$. Это обстоятельство в условиях ограниченности количества коррекционных параметров, влияющих на величину наклонного астигматизма, вызывает неизбежность ограничения угла разворота комбинера. При необходимости наклонный астигматизм может быть в определенной степени компенсирован разворотом матрицы, генерирующей изображение.

Поскольку рассматриваемое мнимое изображение имеет согласно размерам генерирующей свет матрицы прямоугольную форму, то составляющие aberrации в направлении X и У будут меньше aberrаций точек поля в диагональном направлении.

Как видно из таблицы 3, aberrации после оптимизации системы не превышают предельной разрешающей способности глаза. Дисторсия системы вследствие относительной малости угла γ' ($\gamma' = 11,5^\circ$) не превышает $-2,6\%$, что является вполне приемлемым.

Следует сразу отметить, что оптимизация системы проводится в пределах всей зрачковой зоны, поскольку именно так гарантирует оптимальное качество изображения, в том числе и минимизацию параллактических искажений.

Данные aberrации рассчитаны при размещении центра зрачка на оптической оси. Определение дисторсии проводилось при положении зрачка глаза в центральной и периферических точках по всей зрачковой зоне.

Реально, как отмечалось выше, положение глаз наблюдателя в пределах зрачковой зоны в процессе движения носителя меняется из-за тряски и вибраций. Проведение расчетов aberrаций системы при различных положениях зрачка диаметром 4 мм показало, что при позициях в периферийных частях зрачковой зоны с координатами в направлениях X в пределах ± 100 мм и У в пределах ± 40 мм aberrации системы увеличиваются, но не превышают величины 1,8 угловых минут. Поскольку человек автоматически отслеживает процесс наблюдения и выбирает пространство комфортного видения, следует полагать, что в зонах незначительного искажения качества изображения он будет находиться короткое время.

Особый интерес вызывает вопрос об асферизации светоделительной поверхности в системах рассматриваемого типа и об ее возможностях и необходимости применения.

Изначально напрашивается предположение о возможности частичной компенсации наклонного астигматизма в системе за счет составляющих второго и высших порядков в форме светоделительной поверхности комбинера.

Однако, как видно из таблицы 4, приведенные в ней aberrации, найденные в соответствии с расчетами оптической системы комбинера с асферической светоделительной поверхностью высокого порядка (до 14-го включительно), несомненно отличаются от значений в таблице 2.

В скобках указаны величины при ориентировке предмета вдоль оси У. Из содержания таблицы видно, что в оптической системе присутствует наклонный астигматизм, неустранимый, как и предполагалось, асферизацией светоотражающей поверхности комбинера. Минимизация наклонного астигматизма в системах отображения вторичной информации происходит за счет усложнения композиции схемы.

Следовательно, в данной системе добавление асферики 2-го порядка и выше нецелесообразно, так как это не приносит желаемых результатов и делает использование такой поверхности нерациональным как с технической, так и с экономической точек зрения.

Нужно отметить, что оптические системы HUD относятся к бинокулярным композициям, когда наблюдение происходит двумя глазами одновременно через один оптический тракт. Как правило, в таких системах в пределах бинокулярного поля обзора возникают искажения, вызванные бинокулярным параллаксом, когда два глаза наблюдателя одновременно видят одно и то же изображение.

При рассмотрении этого явления следует различать следующие понятия:

- мгновенное поле зрения (IFOV – Instantaneous field of view) – наименьший по размеру объект, который глаз видит или различает в любой заданный момент времени;
- общее поле зрения (TFOV – Total field of view) – предельный размер наблюдаемого объекта через систему;
- бинокулярное поле зрения (BFOV – Binocular field of view) – размер предмета, видимый двумя глазами в горизонтальном положении; определяет максимальную угловую величину изображения HUD, которая может быть видна обоими глазами одновременно.

Бинокулярный параллакс – построение объемного зрительного образа на основе различий проекций трехмерного пространства на сетчатку левого и правого глаза.

Поэтому бинокулярный параллакс существует только в пределах бинокулярного поля обзора. Если оптическая система несовершенна в aberrационном плане, будут появляться некоторые угловые расхождения между тем, что видят левый и правый глаза. Эти расхождения называются бинокулярными ошибками, обусловленными параллаксом. Ошибки параллакса определяются для среднестатистического расстояния между глазами в 64 мм, что является расстоянием между зрачками.

Ошибки параллакса подразделяются на горизонтальные и вертикальные. Горизонтальные ошибки возникают, как правило, в плоскости глаз. Вертикальные ошибки возникают в плоскости, перпендикулярной плоскости глаз. Ошибки, вызванные бинокулярным параллаксом, для фиксированной точки поля обзора эквивалентны угловой разнице между двумя лучами, входящими в глаза и разделенными расстоянием между зрачками.

Так как оптические системы HUD не совершенны, в них присутствуют остаточные некомпенсированные aberrационные погрешности.

Горизонтальный параллакс в дальнейшем делится на конвергентные ошибки, приводящие к тому, что приходится сводить глаза вовнутрь, и дивергентные ошибки, приводящие к повороту глаз в разные стороны.

Вертикальные параллактические ошибки, или дивергенция, приводят к тому, что глаза

Таблица 4. Aberrации системы с асферической светоделительной поверхностью высокого порядка при размерах выходного зрачка 200 мм

Размер предмета, ориентированного по оси X (У), мм	Aberrации системы в угловой мере, мин.
494	73 (93)
349	76 (91)
0	79 (79)
-349	76 (62)
-494	73 (46)

будут отклоняться по-разному относительно горизонтальной плоскости глаз.

Конвергенция, дивергенция и дипвергенция описывают, как два глаза ощущают изображение, для того, чтобы символы воспринимались едиными, не расходящимися.

Как правило, глаза человека не могут с легкостью компенсировать параллактические дивергенцию или дипвергенцию. Потому следует эти ошибки максимально минимизировать.

Конвергенция ведет к тому, что кажущаяся глубина изображения изменяется внутри поля обзора. Глаза человека способны компенсировать ошибки конвергенции, однако это влечет за собой уменьшение точности восприятия изображения.

Вычисленные ошибки бинокулярного параллакса в HUD согласно Квалификационным требованиям в пределах центральной части поля обзора диаметром в границах угла в 10° при наблюдении из опорной точки наблюдения должны соответствовать следующим значениям: конвергенция $<6'53''$ (2.0 мрад); дивергенция $<3'26''$ (1.0 мрад); дипвергенция $<3'26''$ (1.0 мрад).

А в пределах всего поля обзора и при наблюдении в пределах зоны видимости HUD: конвергенция $<12'2''$ (3.5 мрад); дивергенция $<5'9''$ (1.5 мрад); дипвергенция $<6'53''$ (2.0 мрад).

Отметим, что большие ошибки параллакса могут оказаться неприемлемыми при наличии значительных искривлений ветрового стекла.

Как правило, величина параллактических искажений в оптическом приборе коллиматорного типа связана с достигнутым в нем уровнем качества изображения, определяющегося пятном размытия на сетчатке глаза наблюдателя и сопоставимого с качеством таких наблюдательных приборов, как бинокли, в том числе со стабилизацией изображения (перископы, дальномеры и др.). Допустимые диаметры кружков рассеяния в этих приборах порядка $5'$ для центра поля и менее $20'$ – для края поля изображения в пространстве наблюдения.

Определение по формуле $\epsilon' = 3400 \frac{\delta\beta}{s' + z}$ разности значений сферической аберрации $\Delta\delta'$ в угловой мере (ϵ') в обратном ходе световых лучей для координат выходного зрачка в горизонтальном направлении 100 мм и 36 мм для $\lambda = 546$ нм при $s' = 4469$ мм,

$z = 476$ мм, $\beta = 7,78x$ (см. расчет выше) показало $\epsilon' = 6'$, где $\Delta\delta' = 9,1$ мм.

Это конвергенция при глазной базе наблюдателя, равной 64 мм.

С другой стороны, проведение аналогичного расчета для внеосевого пучка лучей в горизонтальном направлении при максимальном размере половины величины объекта, равной 431 мм, $\epsilon' = 4.34'$ при $\Delta\delta' = 6,5$ мм. За величину объекта принято значение изображения половины горизонтальной стороны дисплея в прямом ходе световых лучей. Величина ϵ' здесь характеризует дивергенцию.

Величина дипвергенции при ориентировке объекта размером 242 мм (изображение половины вертикальной стороны дисплея в прямом ходе световых лучей) перпендикулярно горизонтальной плоскости в угловой мере не превышает в пределах зоны видимости $7'$, что в совокупности с приведенными выше значениями углов укладывается в допуски.

Таким образом, при величинах искажений параллакса для других точек поля и зрачка, не превышающих приведенных выше допустимых значений, рассмотренную систему можно считать комфортной при наблюдении.

В реальных условиях измерение параллактических искажений производится путем разбиения поля обзора на сетку, включающую целый массив точек обзора. Далее выполняются измерения в пределах зрачковой зоны соответственно установленной базе глаз наблюдателя значений параллактических ошибок для каждой точки сетки.

Очевидно, что такой измерительный процесс должен быть автоматизирован с использованием возможностей цифровой техники.

В данном исследовании впервые рассмотрены оптимальные характеристики HUD с однокомпонентным оптическим элементом в виде децентрированной менисковой линзы, первая светоделительная поверхность которой обращена вогнутостью к наблюдателю и излучающему дисплею. Полагаем, что на фоне широко ведущихся за рубежом разработок и производства систем аналогичного назначения различной сложности проведенное исследование будет с интересом воспринято в академическом плане и окажется полезным для желающих заняться созданием таких устройств. ◆

«Гранит-Электрон» и диверсификация

ЮРИЙ ПОДОПЛЕКИН,
первый заместитель
генерального
директора по науке
АО «Концерн «Гранит-
Электрон», профессор,
доктор технических наук

АЛЕКСЕЙ ПОСПЕЛОВ,
управляющий директор
по развитию продукции
гражданского и двойного
назначения АО «Концерн
«Гранит-Электрон»

**ВЛАДИМИР
ПРОСВИРНИН,**
начальник сектора
инновационного
развития и внедрения
АО «Северный пресс»

На протяжении многих десятилетий Концерн «Гранит-Электрон» вносит достойный вклад в укрепление обороноспособности нашей страны, обеспечивая военно-морской флот современными высокоточными радиоэлектронными комплексами, создаваемыми на уровне лучших достижений в отечественной и зарубежной технике, что обеспечивает эффективное решение поставленных боевых задач в самых сложных условиях обстановки.

В Концерне на современной высокотехнологичной инновационной, научной и экспериментально-производственной базе ведутся активные научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по приоритетным направлениям развития науки, создания перспективных и модернизации существующих вооружений, военной и специальной техники, информационно-телекоммуникационных систем.

В рамках программ диверсификации и конверсии оборонно-промышленного комплекса предприятия Концерна наращивают выпуск гражданской продукции на основе отработанных высококвалифицированными научными кадрами высоких технологий, систем проектирования многофункциональных комплексов аппаратуры.

ПРОЕКТЫ ПО РАЗВИТИЮ АРКТИКИ

Ведение работ в Арктике требует осуществления актуального оперативного мониторинга морских, шельфовых и континентальных объектов транспортной, промышленной и природной инфраструктуры с упором на использование необслуживаемых автономных многоспектральных и многодиапазонных средств, объединенных в единую информационную сеть диспетчерских служб.

Для получения целостной картины информационной обстановки в отдельном районе,

особенно на арктическом шельфе, необходимо собирать и обрабатывать информацию, получаемую радиолокационными станциями (РЛС) различного базирования, работающими в широком диапазоне частот, поступающую со спутников, кораблей и судов. Комплексование и интеллектуальная обработка данных от многочисленных средств освещения обстановки требуется для выработки и принятия стратегических, тактических и оперативных управленческих решений в целях обеспечения безопасности мореплавания, добычи морских биоресурсов, выполнения научно-исследовательских, геологоразведочных работ, а также при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций.

Создание системы мониторинга обстановки в Арктической зоне Российской Федерации позволит минимизировать воздействие экстремальных геофизических процессов (естественного и искусственного происхождения) на среду обитания человека, включая системы связи и навигации, транспортную и энергетическую инфраструктуры, а также обеспечит безопасность функционирования Северного морского пути и других направлений движения судов.

Концерн обладает уникальным опытом создания аппаратуры для эксплуатации при экстремально низких температурах, высокой влажности, в условиях магнитных аномалий, тропосферных и ионосферных возмущений (северных сияний). Предприятия Концерна разрабатывают, изготавливают, поставляют и обслуживают береговые РЛС в различном исполнении, автоматизированные системы управления и связи, которые, в свою очередь, представляют собой универсальные средства обработки и передачи информации, интегрируемые с техническими средствами различных диспетчерских служб.

В соответствии с требованиями по безопасности мореплавания Полярного кодекса «суда должны быть оборудованы средствами получения актуальной информации, включая информацию о ледовой обстановке», и иметь на борту средства получения и отображения текущей ледовой обстановки в районе мореплавания. В АО «Равенство», входящем в Концерн «Гранит-Электрон», разработаны соответствующие программно-аппаратные комплексы (ПАК) «Дельта» и «Льдинка», подключаемые к штатным судовым РЛС.

В ПАК поступает, обрабатывается и отображается вся цифровая и/или аналоговая информация от имеющихся на борту судна радаров разных диапазонов. С учетом того, что изображение льда на различных радарх существенно отличается, в ПАК используется несколько специальных методов обработки данных. Благодаря этому повышается качество и информативность радиолокационной информации о ледовой обстановке, расширяется перечень и точность определения ледовых характеристик, их визуализация и получение численных значений.

Первая задача – улучшение качества отображения ледовой информации. Ввиду того, что скорость перемещения льда относительно судна сравнительно невелика, то для отображения можно использовать информацию, накопленную в течение нескольких оборотов антенны. Это повышает контрастность ледового изображения и улучшает наблюдаемость мелких объектов. Поскольку это изображение не является исходным, оно отображается в черно-белой палитре.



Рис. 1. Программно-аппаратный комплекс «Дельта»

Следующая задача – разделение льда и водной поверхности и определение сплоченности – отношения суммарной площади льдин к общей площади контролируемой зоны (рисунок 2).

При детальном анализе определяется торосистость льда – степень покрытия его поверхности торосами всех видов, а также тенденция движения ледового массива и отдельных льдин, курс и скорость их движения.

Для наглядного представления о состоянии ледовой обстановки формируется ее трехмерное (3D) изображение (рисунок 3).

Инструментами, имеющимися в ПАК, можно измерить линейные размеры льдин и айсбергов: площадь, параметры движения (курс, скорость), сплоченность, торосистость – и выработать

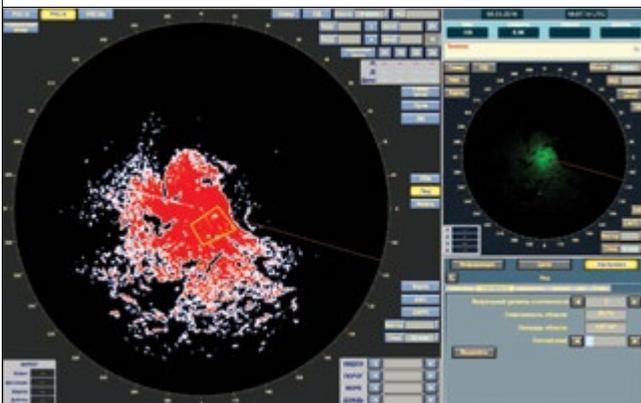


Рис. 2. Отображение на мониторе комплекса «Дельта» сплоченности льда

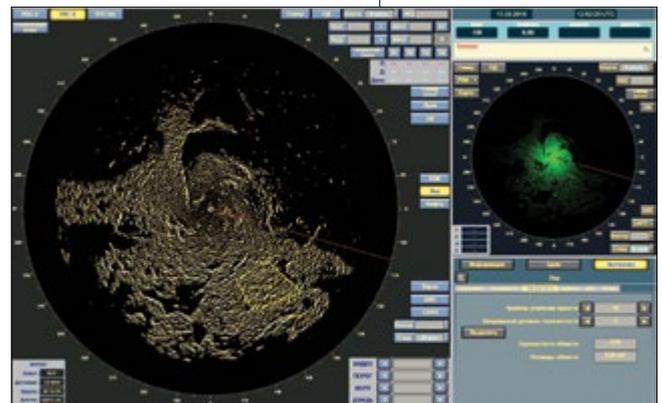


Рис. 3. Отображение на мониторе комплекса «Дельта» торосистости льда

рекомендации по безопасному расхождению с ними.

Результаты работы предполагается использовать при создании и эксплуатации судов и морских объектов, работающих в замерзающих морях Арктики и Антарктики, включая зону арктического шельфа.

В настоящее время в Концерне выполняется ряд перспективных научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ по формированию научно-технического задела для создания высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения:

- комплексы разведки ледовой обстановки и рыбных промыслов на базе беспилотного летательного аппарата (БЛА) вертолетного типа; на его основе станет возможной разработка конкурентоспособных технологий, необходимых для создания с использованием существующих и перспективных БЛА средств ледовой разведки, обеспечения рыбных промыслов, оперативного контроля, информационной поддержки промышленного рыболовства и рационального использования водных биоресурсов;

- исследование научно-технических проблем создания систем, технологий и формирования интегрированной сети из обслуживаемых и необслуживаемых РЛС, диспетчерского центра для арктического шельфа, существенно повышающих безопасность прохода судов по Северному морскому пути благодаря получению своевременного прогноза и управления в условиях высокого риска;
- разработка судовой навигационной РЛС с функциями определения ледовой обстановки, что позволит расширить функциональные возможности существующих судовых навигационных РЛС;
- формирование системы оперативного мониторинга морской поверхности в арктическом шельфе, эффективное решение задачи обеспечения комплексов охраны и жизнеобеспечения достигается только при комплексном использовании информации от различных корабельных (активных и пассивных) и внешних (наземных, авиационных, космических) источников; разрабатываемые средства мониторинга Арктической зоны РФ работают в едином информационном поле, обеспечивая выработку информации по целям с заданным качеством.

Выполнение исследований, направленных на развитие инфраструктуры Арктической зоны Российской Федерации, позволит разработать конкурентоспособные технологии, необходимые для создания перспективных робототехнических комплексов, решающих задачи ледовой разведки, мониторинга рыбных промыслов, информационной поддержки промышленного рыболовства, рационального использования водных биоресурсов, а также создания системы комплексной безопасности арктического морского судоходства.

МЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНИКА

Одно из приоритетных направлений деятельности Концерна в рамках диверсификации ОПК и реализации национального проекта «Здравоохранение» – разработка и производство высокотехнологичной медицинской техники. АО «Равенство», входящее

Рис. 4. Дистанционный гамма-терапевтический комплекс «Рокус-Р»



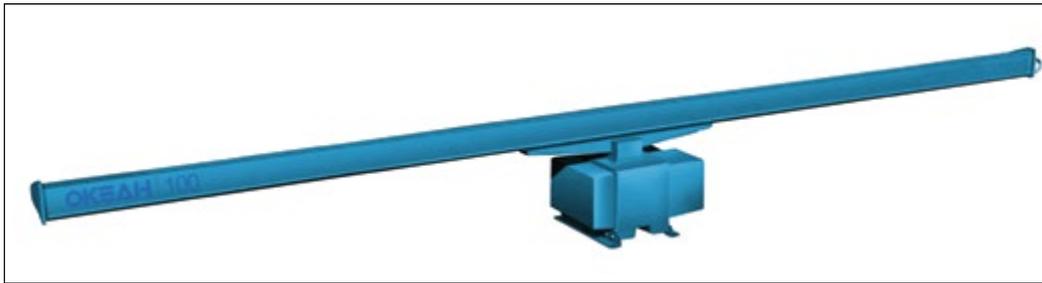


Рис. 5. Антенное устройство РЛС «Океан-100»

в наш Концерн, представлено в мировой пятёрке уникальных разработчиков дистанционных гамма-терапевтических комплексов типа «Рокус-Р», соответствующих стандартам Всемирной организации здравоохранения и МАГАТЭ. Имея многолетний опыт создания такого перспективного медицинского оборудования, оно выступает его единственным производителем в России.

Специальная трехмерная система планирования лучевой терапии, реализованная в комплексе, обеспечивает точное и безопасное для пациента и медперсонала облучение злокачественных новообразований в ходе лечения онкозаболеваний, таких как рак легкого, гортани, молочной железы, кишечника, шейки матки, лимфатических узлов малого таза и пищевода.

«Рокус-Р» существенно повышает возможности в борьбе со злокачественными образованиями благодаря ранней диагностике и своевременному началу курса дистанционной лучевой терапии.

Совместно с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого в АО «Северный пресс» разработан медицинский диагностический ультразвуковой комплекс-трансформер «Узимобиль», обеспечивающий высокий класс медицинской ультразвуковой диагностики в больницах, травмпунктах, а также при выездах врача на дом. В нем объединены стационарный, мобильный и ручной аппараты.

Эта полностью российская разработка с применением уникального модульного проектирования предназначена для оперативного выпуска аппаратуры любого класса, от среднего до экспертного. Модульность позволяет гармонично встраивать его в другие медицинские лечебно-оздоровительные системы для применения в кардиологии, нейросонографии, абдоминальных исследованиях, акушерстве и гинекологии, маммологии, урологии, педиатрии, ветеринарии.

ГРАЖДАНСКАЯ МОРСКАЯ ТЕХНИКА

Примечательно, что в Концерне «Гранит-Электрон» развитие технологий для гражданской и военной морской техники традиционно осуществлялось практически параллельно.

Так, в АО «Равенство» на базе высоких технологий в области электронной техники, высокопроизводительных процессоров, средств отображения информации создается линейка РЛС «Океан» для служб управления движением судов и береговой инфраструктуры, которая стала идеальным решением для освещения надводной обстановки в акваториях портов, прибрежных зонах, каналах и других водных пространствах.

В АО «Северный пресс» создана радиолокационная станция кругового обзора для высокоширотного применения – «ВРЛС». Реализация этого проекта связана с необходимостью обеспечения безопасности морских буровых установок отечественным оборудованием для добычи нефти и других углеводородов. Устанавливаемая на стационарных береговых постах, морских платформах, автоматических постах наблюдения с дистанционным управлением, а также на морских и речных судах малого и среднего тоннажа РЛС обеспечивает наблюдение за окружающей обстановкой, положением и перемещением радиоконтрастных объектов, ледовых полей, ледовых торосов в высоких широтах.

Гражданская морская техника представлена еще одним совместным с Санкт-Петербургским политехническим университетом Петра Великого проектом – «Беспилотный универсальный катер». На безэкипажном катере будет использована интеллектуальная система управления, обеспечивающая полностью автономное управление движением судна с учетом влияния внешних факторов и с минимальными отклонениями от заданной траектории движения. Эта система

может быть дополнительно внедрена на гражданских судах и военных кораблях различных классов и назначения.

В данном проекте специалисты Концерна и Политеха объединили знания судостроения, информационных технологий, оптики, акустики, металлургии и методологические основы синтеза интеллектуальных технологий (методов нечеткой логики, нейронных сетей, генетических алгоритмов), мониторинга и диагностики состояний технических средств управления безэкипажным катером в реальном времени.

ДРУГИЕ ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПРОЕКТЫ ГРАЖДАНСКОГО И ДВОЙНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

На Международном военно-техническом Форуме «Армия-2019» Концерн впервые представляет перспективный инновационный тренажерный комплекс «Кудесник», спроектированный в АО «Северный пресс» за счет средств

Фонда научно-технического развития предприятия. Он создается по договору о творческом сотрудничестве с Рязанским высшим воздушно-десантным командным ордена Суворова дважды Краснознаменным училищем (РВВДКУ) имени генерала армии В.Ф. Маргелова.

Не случайно аббревиатура названия комплекса расшифровывается как «Комплекс учебного десантирования, нагрузок и координации». «Кудесник» способен создать обстановку, близкую по ощущениям к реальному прыжку, имитируя в сознании тренирующихся все фазы прыжка с парашютом.

В используемом в тренажере шлеме виртуальной реальности формируются зрительные образы пространства и звуковое сопровождение, соответствующие картинам окружающей среды, встречным воздушным потокам и пространственному манипулированию телом обучаемого десантника.

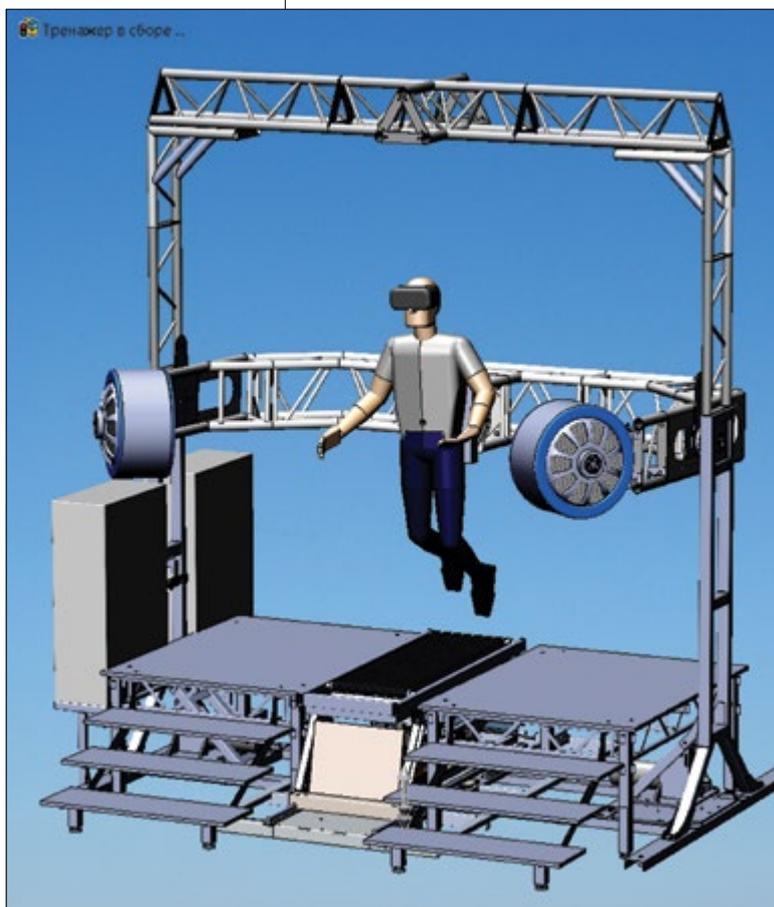
«Кудесник» может использоваться для подготовки десантников противопожарной охраны лесов, спасателей, действующих в высокогорье, спортсменов и летного состава. Для этого предстоит лишь несколько изменить программный контент в шлеме виртуальной реальности.

Управление тренажерным комплексом осуществляется с рабочего места оператора. Оператор производит настройку тренажера по фигуре тренирующегося, задает вид окружающей среды для воспроизведения в шлеме виртуальной реальности и формирует сценарий воздействий, транслируемых в тренировочном прыжке.

Визуальный контент полностью соответствует реальным объектам – вертолету или самолету и изображению земли с борта летательного аппарата.

По команде руководителя в виртуальном пространстве и совершении двух шагов по бегущей дорожке ферма поворачивается на 90 градусов и происходит отделение парашютиста от бегущей дорожки, как от борта, и он реально запрокидывается на спину. Изображение земли в виртуальном мире вращается синхронно с поворотом рамы так, что человек воспринимает падение к земле как в положении стоя, будучи на самом деле в горизонтальном положении на спине. Включаются боковые вентиляторы интенсивного воздушного обдува. Сила встречного

Рис. 6. Общий вид тренажера «Кудесник»



потока воздуха в реальном прыжке замещается в тренажере силой гравитации. Руки и ноги в этом положении отклоняются за спину. Слышен отдаляющийся шум вертолета. После рывка за кольцо тренажер меняет положение фермы до 60 градусов и при раскрытии парашюта происходит резкое встряхивание тренирующегося. Начинается пилотируемый спуск на парашюте в виртуальном пространстве с помощью органов управления специальными стропами. Горизонт событий меняет свое положение в шлеме синхронно с движением несущей фермы тренажера. Приземление осуществляется с расчетной скоростью. Полотно бегущей дорожки разгоняется соответствующим образом. Боковые вентиляторы производят обдув тренируемого в соответствии с его собственным движением при снижении и ветром у земли. Несущая ферма поворачивается в исходное положение для того, чтобы парашютист выполнил приземление и пробежку по дорожке.

После приземления программа может давать самостоятельное заключение о качестве исполненного прыжка. Программное обеспечение тренажера позволяет создавать различное время года, суток, погодные условия и тактическую обстановку.

Тренажер оказывает физические воздействия на систему чувств и восприятия человека встречными потоками воздуха, вибрацией, звуковым давлением, вращением по крену и тангажу, перемещением по бегущей дорожке, оставляя в его сознании образы всех событий как во время реального прыжка.

Используемые в тренажерном комплексе программные средства позволяют создать открытую систему программирования виртуальных пространств с заданными свойствами. Это предоставляет возможность пользователю генерировать свои сценарии событий в заданной обстановке, отрабатывать действия личного состава в широком спектре нештатных и экстремальных ситуаций, обусловленных обстановкой на земле и в воздухе.

Следует отметить экономическую эффективность проекта «Кудесник». Стоимость одного прыжка с парашютом находится в пределах 5000-8000 рублей, а реализация ситуации свободного падения, раскрытия парашюта и при-

земления в тренажере оценивается в 100-150 рублей.

Такая принципиально новая технология отработки навыков прыжков с парашютом может быть применена для подготовки личного состава Вооруженных сил Российской Федерации.

28 февраля – 1 марта 2019 года разработчики тренажера во главе с главным конструктором Владимиром Просвирниным обсудили актуальные вопросы усовершенствования тренажера «Кудесник» в ходе научно-практической конференции «Проблемы развития вооружения, военной и специальной техники Воздушно-десантных войск», состоявшейся в Рязанском гвардейском высшем воздушно-десантном училище. В конференции приняли участие офицеры Управления командующего ВДВ, представители Военно-научного комитета ВС РФ, Военно-научного комитета ВДВ, профессорско-преподавательский состав и курсанты РВВДКУ, сотрудники предприятий ОПК и научно-исследовательских институтов.

Разработчики АО «Северный пресс» представили участникам конференции теоретическое обоснование алгоритмов управления и воздействия на человека в тренажерном комплексе «Кудесник», алгоритмы движения приводов, обеспечивающих наиболее точное соответствие перемещениям в свободном пространстве системы «человек-парашют» на всех фазах прыжка. Система «парашют-человек», находящаяся в воздушном потоке, состоящая из элементов масс, упругостей и диссипативных потерь, может рассматриваться как маятник, совершающий гармонические колебания под действием внешних сил. На основе законов восприятия человеком окружающей среды сформулированы принципы формирования уровней и скоростей внешних воздействий: перемещение, звук, вибрация, потоки воздуха.

В заключение отметим, что реализация этих проектов стала возможной благодаря уникальным наукоемким технологиям, производственным мощностям, современному оборудованию, научным и инженерным кадрам Концерна «Гранит-Электрон», которые позволяют создавать и другие перспективные образцы высокотехнологичной продукции гражданского и двойного назначения. ◆

Моделирование радиоотражений от подстилающей поверхности

**ВЛАДИМИР
АНДРЕЕВ,**

профессор кафедры радиотехнических систем Рязанского государственного радиотехнического университета, доктор технических наук

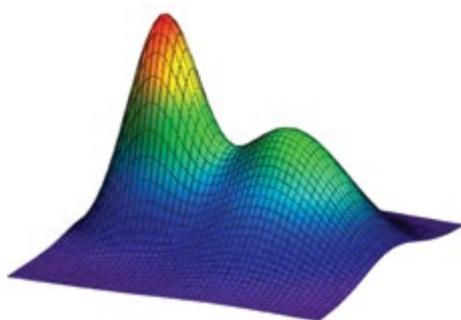
СЕРГЕЙ ЮКИН,

доцент кафедры радиотехнических систем Рязанского государственного радиотехнического университета, кандидат технических наук

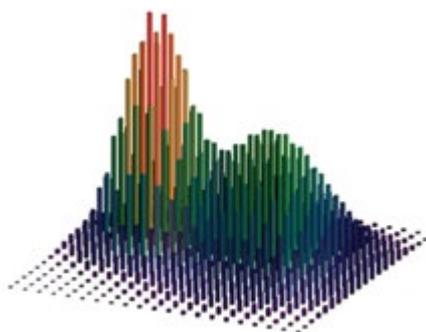
В настоящее время появляется возможность использовать геоинформационные системы, позволяющие работать с картографической информацией на основе цифровых баз данных. В них для элементов ландшафта приводятся географические координаты и семантическая информация.

В современных системах технического зрения в различных аспектах широко используются технологии SVS (Synthetic Vision System – системы синтезированного видения). В них высокая степень детализации рельефа позволяет осуществлять совмещение синтезированных изображений (виртуальных моделей местности) и реальных изображений, формируемых сенсорами различных спектральных диапазонов.

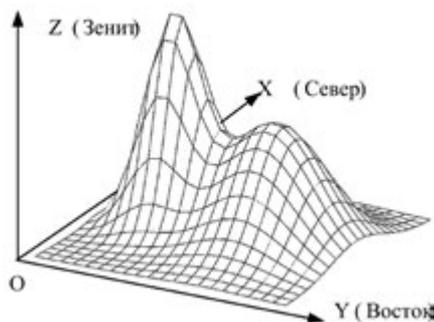
Для построения моделей радиоотражений от подстилающей поверхности также используется оцифрованная топографическая карта, но в качестве дополнительной семантической информации используются коэффициенты отражения при различных углах облучения радиоволнами заданной частоты, что позволяет оценивать эффективную площадь рассеяния участка земной поверхности при заданных высоте и угле скольжения луча зондирующей электромагнитной энергии. Общий принцип построения (формирования по карте) необходимой для построения радиоотражений модели поверхности показан на рисунке 1.



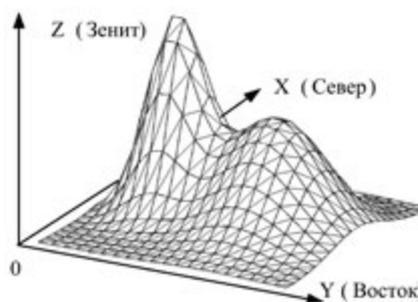
Исходный фрагмент рельефа



Сформированный массив высот



Формирование сетки рельефа



Триангуляционная аппроксимация

Рис. 1. Создание модели поверхности для моделирования РЛИ

Моделирование радиолокационного изображения (РЛИ) основывается на комбинации лучевой и факетной теорий отражения, модифицированных согласно принятой триангуляционной аппроксимации в пространстве К2 для синтеза ландшафта по цифровой карте местности на основе метода полигональных поверхностей (рисунок 2).

Радиолокационное изображение формируется на основе цифровой карты местности как совокупность точечных фрагментов определенной яркости. При этом предусмотрено использование не только модели диаграммы направленности антенны, но и ее реальной формы посредством введения массивов данных, снятых экспериментально в различных сечениях. Сам процесс синтеза радиолокационного изображения можно разбить на следующие базовые этапы:

- оценка свойств всех элементарных фрагментов поверхности (треугольников) и их сортировка по набору признаков в каждом пространственном положении диаграммы направленности антенны;
- выделение, в соответствии с заданным правилом (критериями), признаков определяющей аккумуляцию энергии элементов в каждом элементе разрешения и последующее формирование спектрально-дальностного портрета радиоотражений (рисунок 3);
- синтез РЛИ в заданном режиме обзора подстилающей поверхности: режим реального луча, режим доплеровского луча или синтезированной апертуры (с незначительным изменением второго шага).

На рисунке 3 введены следующие условные обозначения:

$P_{np}/\max(P_{np})$ – нормированная к своему максимальному значению мощность на входе приемника; R – наклонная дальность, F_n – частота повторения зондирующих импульсов; f – доплеровская частота; ГЛ ДНА – главный лепесток диаграммы направленности антенны.

Предусмотрено использование не только модели диаграммы направленности антенны (ДНА), но и ее реальной формы посредством введения экспериментального массива данных, что позволяет более точно учитывать пространственный коэффициент направленного действия при оценивании отраженной от поверхно-

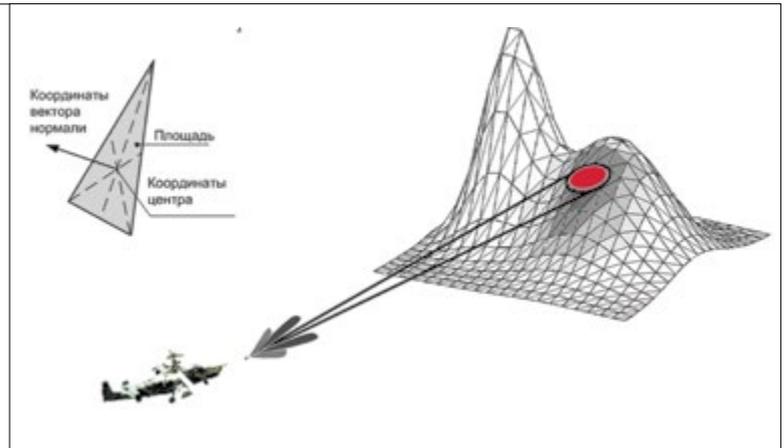


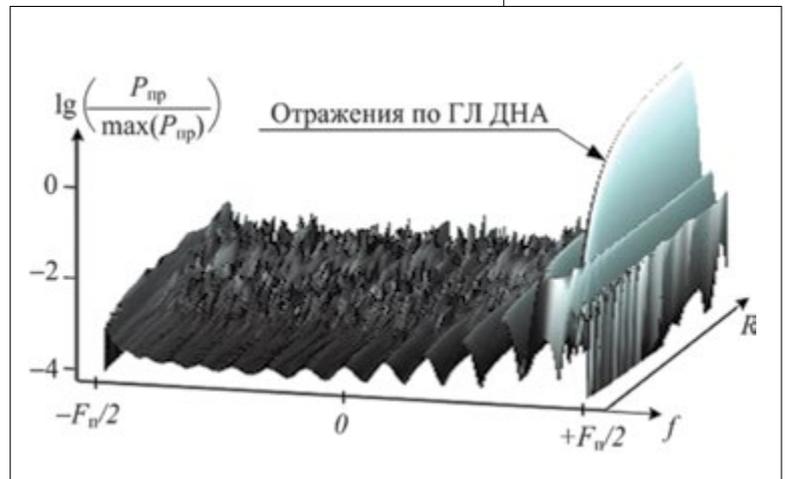
Рис. 2. Создание полигональной поверхности из треугольников

сти мощности на входе приемного устройства РЛС.

Следует отметить, что с уменьшением шага карты – d увеличивается плотность заполнения пространства карты. Увеличение плотности заполнения делает модель поверхности ближе к реальной, то есть к непрерывной. Вместе с тем дискретный характер цифровой обработки эхо-сигналов и их отображения на экране РЛС в форме двумерной матрицы яркостей в координатах «азимут-дальность» позволяет ограничить требования к модели поверхности заданным разрешением. Однако надо учитывать, что с увеличением d сильнее проявляется эффект взаимопроникновения сегментов модели поверхности, определяющих области теней, что порождает нечеткие границы затенений (стробоскопический эффект).

На рисунке 4а представлен пример модельной местности и положения РЛС. Приведены три проекции: слева вверху – боковая, справа

Рис. 3. Пример спектрально-дальностного портрета радиоотражений при равномерной подстилающей поверхности



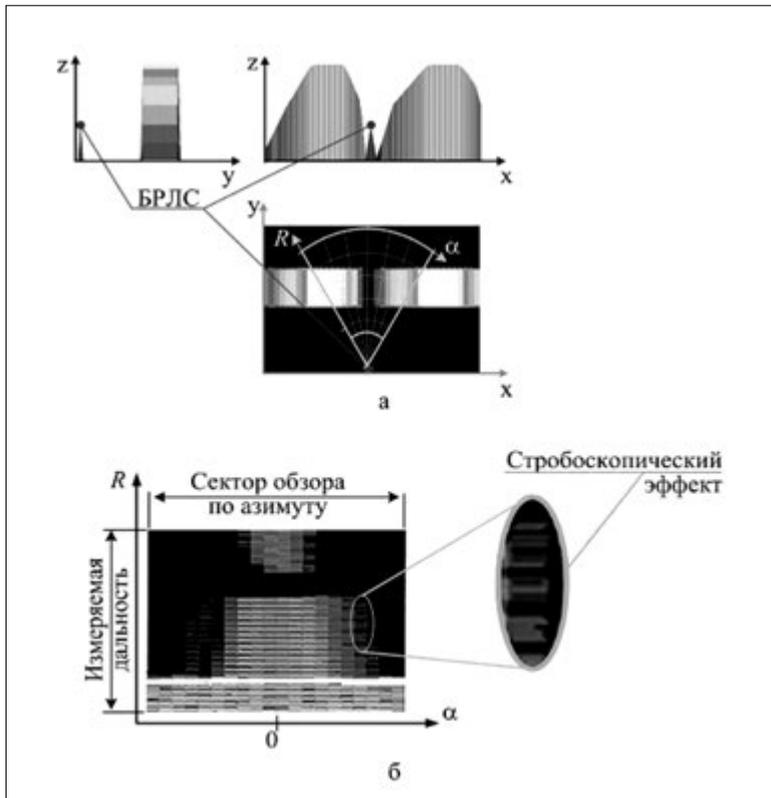


Рис. 4. а) Вид модельной местности в трех проекциях и позиция носителя РЛС; б) синтезированное радиолокационное изображение

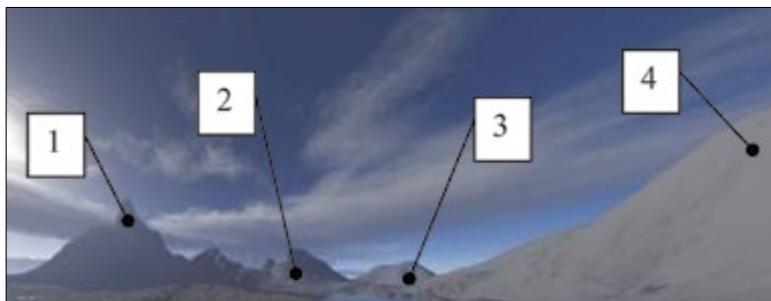


Рис. 5. Оптическое изображение местности с заданным рельефом

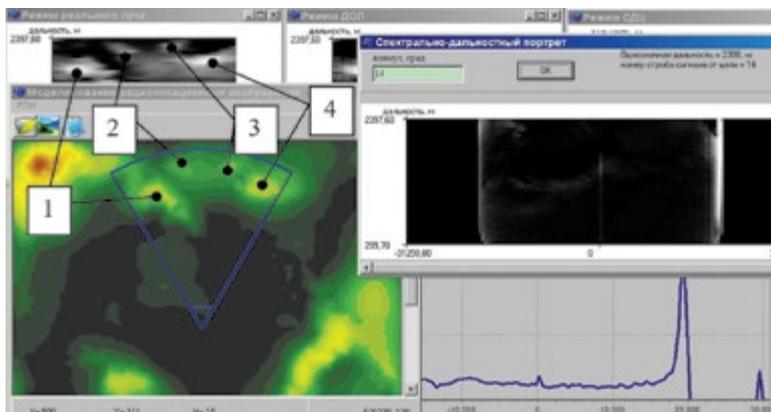


Рис. 6. Результат моделирования радиолокационного изображения местности с заданным рельефом

ва сверху – фронтальная, справа внизу – вид сверху. На рисунке 4б показано смоделированное радиолокационное изображение местности в координатах R – наклонная дальность, α – азимут. Проявление дискретного характера цифровой топографической карты – справа с увеличением границы затенений. На рисунке 4б видны неровные края радиолокационной тени. Борьба со стробоскопическим эффектом заключается в уменьшении величины d шага карты по сравнению с элементом разрешения РЛС. Эксперименты показали, что необходимо выбирать величину d в 2–5 раз меньше, чем кольцо дальности радара.

В рамках выполненной нами работы осуществлен синтез ландшафта (поверхности Земли по маршруту полета летательного аппарата) по цифровой карте местности на основе метода полигональных поверхностей. При этом в качестве многоугольников используются треугольники. То есть применяется триангуляционное описание поверхности.

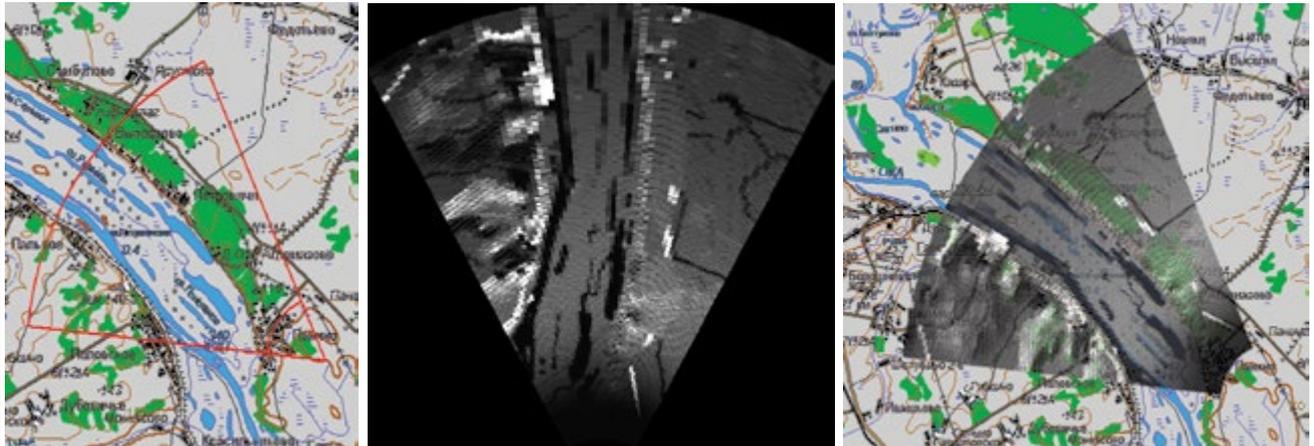
Топология полученной при этом сетки описывается следующим образом:

1. Ее объектами являются вершины, ребра и треугольники, задаваемые тремя вершинами или тремя ребрами.
2. Любая вершина обладает набором координат (условных географических и/или сферических, связанных с РЛС).
3. Для любого треугольника существует не более одного другого треугольника, инцидентного для первого по фиксированному ребру.

Для снижения стробоскопического эффекта, вызванного большим шагом карты, предусмотрена процедура квазиразрешения.

На рисунке 6 приведены результаты моделирования радиолокационного изображения местности, внешний оптический вид которой со стороны носителя РЛС представлен на рисунке 5.

Цифрами на рисунках 5 и 6 обозначены четыре характерные возвышенности рельефа, которые отображены на видимом изображении (рисунок 5), на рельефной карте (рисунок 6) и на фрагменте синтезированного радиолокационного изображения в режиме реального луча. Компьютерная программа позволяет



Фрагмент карты с отображением сектора обзора

Формируемое РЛИ в режиме реального луча

Отображение модельного РЛИ поверх карты (в секторе обзора)

синтезировать радиолокационные изображения в различных режимах функционирования РЛС: реального луча, доплеровского облучения луча, селекции движущихся целей. При этом учитываются эффекты неоднозначности измерения дальности и скорости. Сектор обзора показан на рельефной карте местности (рисунок 6) и соответствует сектору видеоизображения местности на рисунке 5.

На рисунке 7 показана работа функционально-программного обеспечения моделирования радиолокационного изображения по реальной карте. Для сравнения режимов реального луча и доплеровского облучения луча на рисунке 8 представлены формируемые РЛИ в соответствующих режимах работы.

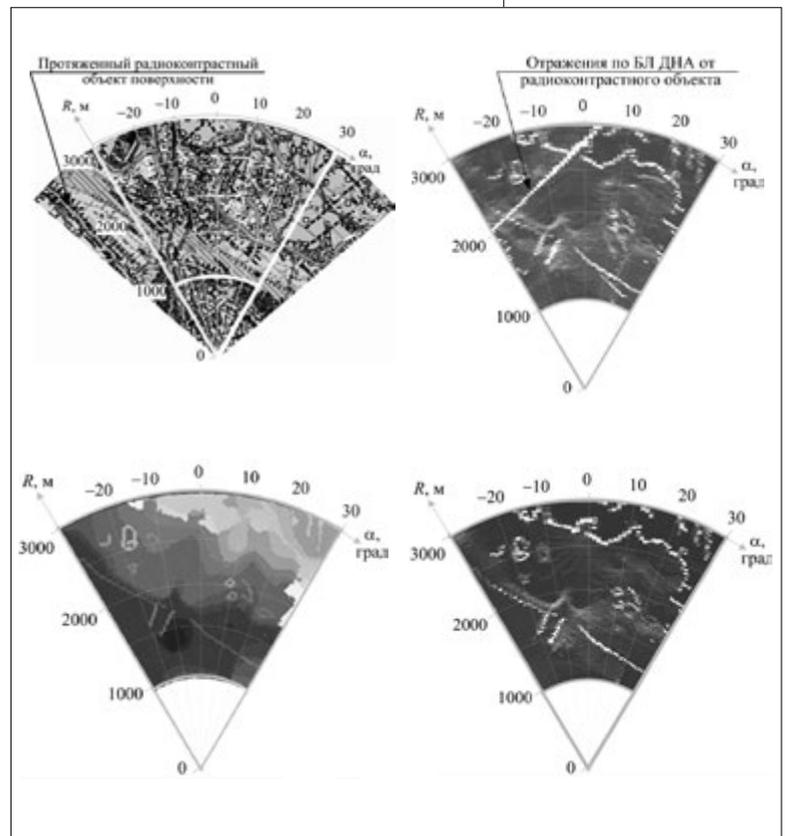
Созданные компьютерные средства моделирования радиоотражений от поверхности Земли используются для проведения учебных занятий при преподавании ряда радиотехнических дисциплин, в учебно-научной и научной работе со студентами, магистрантами и аспирантами Рязанского государственного радиотехнического университета.

Таким образом, имеется возможность формирования радиолокационного изображения поверхности земли на основе трехмерной цифровой топографической карты местности, дополненной характеристикой рассеяния радиоволн различными видами поверхностей и объектов. Алгоритмы моделирования протестированы на различных рельефах, а результаты моделирования сопоставлены с реальными радиолока-

ционными изображениями. Это свидетельствует о подобности смоделированного и реального изображений и показывает принципиальную возможность выявления новых неподвижных наземных объектов путем сопоставления реальных отражений от рельефа Земли и модельных портретов отражений от лоцируемой подстилающей поверхности. ◆

Рис. 7. Пример моделирования РЛИ

Рис. 8. Пример формирования РЛИ в двух различных режимах работы



Перспективные технологии радиосвязи тактического звена

АЛЕКСАНДР СТЕПАНОВ,

старший научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Министерства обороны РФ

ВЛАДИМИР АГЕЙКИН,

старший научный сотрудник ФГБУ «46 ЦНИИ» Министерства обороны РФ

ДМИТРИЙ СЕМЕРУНИН,

начальник отдела ФГБУ «46 ЦНИИ» Министерства обороны РФ

Развитию систем и средств связи тактического звена управления (ТЗУ) войсками (уровень дивизия-бригада и ниже) в боевых действиях и специальных операциях сегодня уделяется значительное внимание и в России, и за рубежом.

Показательным будет сравнительный анализ текущего уровня наработок в Российской Федерации с техническими и технологическими решениями, которые используются в системах и средствах радиосвязи тактического звена управления (ТЗУ) сухопутных войск США, имеющих на вооружении и находящихся на завершающих стадиях разработки.

В настоящее время отчетливо прослеживаются два направления развития таких систем.

Первое – дальнейшее улучшение технических характеристик узкополосных и широкополосных средств радиосвязи ТЗУ на основе традиционных технологий программируемого радио SDR (Software-Defined Radio) и системы когнитивного радио CRS (Cognitive Radio Systems).

Второе – внедрение новых способов, технических решений излучения и приема сверхширокополосных сигналов, чтобы полностью использовать потенциал сверхширокополосных (СШП) систем связи в ТЗУ, существенно превосходящих возможности широкополосных (обычных) систем по скорости передачи информации, скрытности работы, устойчивости к внешним помехам.

По первому направлению в целях обеспечения помехоустойчивой высокоскоростной связи в сетях нижнего уровня ТЗУ сухопутных войск США предусматривается создать единое семейство унифицированных многодиапазонных

модульных программируемых цифровых радиостанций (JTRS – Joint Tactical Radio System) для всех видов вооруженных сил США. В них будут использоваться SDR-технологии, новые широкополосные сетевые протоколы связи SRW (Soldier Radio Waveform) и WNW (Wideband Networking Waveform), пакетная передача сообщений по интернет-протоколу.

SDR-технология использует встраиваемые компьютерные технологии и опирается на достижения в цифровой обработке сигналов – DSP (digital signal processing) на основе программируемых вентиляльных матриц FPGA (field-programmable gate arrays). Операционная система SDR является коммуникационным программным обеспечением с открытой архитектурой – SCA (Software Communications Architecture). Это позволяет SDR-устройствам обмениваться информацией друг с другом в зашифрованном виде. Очень важным преимуществом является возможность осуществления одной аппаратной платформой разных классов радиосвязи, как современной, так и предыдущих поколений: SRW (Soldier Radio Waveform), WNW (Wideband Networking Waveform), MUOS (Mobile User Objective System), TTNT (Tactical Targeting Network Technology) – рисунок 1.

Из наиболее используемых в армии США портативных радиостанций ТЗУ назовем радиостанцию AN/PRC-154 Rifleman Radio (рисунок 2). Ее возможности позволяют ретранслировать сигналы между радиостанциями действующей сети в период времени до получения шлюза на станцию спутниковой связи, доступа в Интернет или установления необходимого внутреннего соединения в сети. В связке



Рис. 1. Схема взаимодействия в тактическом звене армии США

с AN/PRC-154 для передачи командирам подразделений оперативной тактической информации и определения местоположения могут использоваться другие коммуникационные устройства, к примеру, защищенные смартфоны Nett Warrior (рисунки 2 и 3).

Следующим технологическим шагом после SDR является создание радиостанции с интеллектуальным управлением, называемой «когнитивное радио». Она обеспечивает рациональное использование имеющегося в распоряжении радиочастотного спектра.

В общем виде термин «когнитивное радио» (Cognitive radio system, CRS) трактуется следующим образом: «Система когнитивного радио – радиосистема, использующая технологию получения знаний о среде, в том числе о географической, в которой она фактически функционирует, и об установившихся правилах и внутреннем состоянии...». Согласно полученным знаниям, она автономно динамически корректирует собственные эксплуатационные параметры и протоколы для достижения поставленных целей, а также продолжает обучение и накопление новых данных на основе получаемых результатов.

Технологии CRS обеспечивают способность получать и передавать сигналы на различных частотах. Частными случаями подобных систем являются технологии распределенного спектра и пространственно-временного мультиплексирования. Средства на базе технологии CRS, конструктивно изготовленные в виде одного устройства, имеют расширенную функциональность и конвергенцию отдельных оконечных устройств для приема сигналов телевидения, мобильной связи и радио.

«Интеллектуальное» (когнитивное) радио составляет отдельный подкласс этой технологии CRS. В нем с использованием методов искусственного интеллекта проводятся анализ электромагнитной среды, поиск, выбор временно или постоянно не используемых частот для использования, что позволяет увеличить скорости и объемы передачи информации в каждый момент текущего радиосеанса.

В этом случае в базах знаний радиоустройств должны содержаться данные о состояниях системы и возможных действиях, генерируемых с учетом накопленных знаний (информации о состоянии, занятости, вероятности ошибок в каналах и т.п.). В настоящее время опытная бес-

проводная сеть на базе «интеллектуального» радио развертывается на тренировочной базе армии США в Форт Блис, штат Нью-Мексико, для создания устойчивой коммуникационной сети, использующей все диапазоны и виды связи (голос, видео, тестовые сообщения, электронная почта, доступ к данным). Такая система будет автоматически разворачиваться на поле боя. Теоретически она способна к самостоятельному восстановлению нарушенных коммуникаций и обеспечению устойчивой связи в условиях радиоэлектронного противодействия.

Головной разработчик в России – АО «Концерн «Созвездие» выполняет комплекс работ по созданию перспективных средств Единой системы управления тактического звена (ЕСУ ТЗ) с упором на разработку систем и комплексов связи, реализующих принцип сетецентризма. Достигнутые результаты подтверждены опытной эксплуатацией отдельных элементов ЕСУ ТЗ в войсках, в реализации отдельных технологий и технологических решений в сфере связи и управления войсками. Некоторые технологии

организации сетей на основе Wi-Fi каналов не обеспечивают должную защиту от помех и высокоточного оружия. Следствием является необходимость использования в ЕСУ ТЗ отдельных технических средств для вхождения в сети связи специально развертываемых базовых станций, что противоречит концепции связи «каждый с каждым».

По прогнозам головного разработчика, касающимся поступательного развития технологий организации связи и управления войсками, создание ЕСУ ТЗ второго этапа планируется завершить к 2020 году.

В США в рамках второго направления, указанного в начале статьи, созданы средства радиосвязи на технологии импульсного радио, в котором информация кодируется посредством временной позиционно-импульсной модуляции PPM (Pulse Position Modulation). Смещение импульса относительно его «штатного» положения в последовательности вперед задает «0», назад – «1». Один информационный бит кодируется последовательностью 150-200 импульсов на



Рис. 2. Радиостанция AN/PRC-154 Rifleman Radio



Рис. 3. Защищенный смартфон Nett Warrior



Рис. 4. Узел СШП радиосвязи DRACO



Рис. 5. UWB-приемопередатчик ORION L-диапазона

бит. Характерно что для передачи информации вместо непрерывного сигнала используется поток импульсов, а сигналы передаются короткими (20...0,1 нс) импульсами, следующими друг за другом с интервалами 2...2500 нс.

К преимуществам импульсной сверхширокополосной технологии можно отнести:

а) высокую скорость передачи информации;

Из фундаментальной формулы Шеннона следует, что пропускная способность гауссовского канала связи повышается с увеличением полосы пропускания канала и соотношения сигнал/помеха на входе приемного устройства. Теоретически для средств связи, построенных на основе импульсной UWB-технологии с полосой частот более 1 ГГц, скорость передаваемой информации может достигать свыше 1 Гбит/с.

б) энергетическую скрытность и помехоустойчивость;

Помехоустойчивость импульсной СШП-технологии можно оценить через понятие усиления обработки. В системах с расширением спектра усиление обработки определяется как отношение ширины полосы канала к ширине полосы информационного сигнала. Для систем расширения спектра методом прямой последовательности с шириной канала 5 МГц и информационным сигналом 10 кГц усиление составит 27 дБ (500 раз). Такой же сигнал, передаваемый импульсным радио с шириной полосы 2 ГГц, получит усиление 53 дБ (200 тыс. раз). Этим обуславливает-

ся очень малая необходимая средняя мощность передатчиков и, соответственно, высокая энергетическая скрытность работы систем связи UWB. В 1997 году корпорация Time Domain (США) продемонстрировала полнодуплексную связь на основе импульсной UWB-технологии с центральной частотой 1,3 ГГц на расстоянии до 16 км и скорости передачи информации 39...156 кбит/с при средней мощности передатчика около 250 мкВт. Обнаружить, перехватить и подавить такой распределенный по очень широкому спектру СШП сигнал крайне проблематично.

в) отсутствие переотражений от различных поверхностей, способность проникновения сквозь стены и другие препятствия.

Одно из существенных достоинств импульсной СШП-технологии – отсутствие интерференции при прямом распространении сигнала с отражениями от различных объектов. Переотражения – бич многих связанных и локационных технологий. Из-за них затруднена связь внутри помещений, в условиях сложного рельефа, в плотной железобетонной застройке, в других труднодоступных местах. В импульсной СШП-технологии отраженный сигнал, проходящий в приемник с задержкой, воспринимается как случайная помеха, никак не воздействующая на прямой сигнал. Благодаря широкополосности затухание короткоимпульсного сигнала в различных труднодоступных средах достаточно мало, так как полезный сигнал подавляется не на всем

диапазоне, а на некоторых его участках. Поэтому короткие импульсы легко проходят сквозь препятствия.

Практической реализацией технологии импульсного радио являются радиостанции DRACO и ORION, разработанные компанией MultiSpectral Solution Inc., США.

DRACO – мобильная СШП-радиостанция, в которой используются комбинация частотного уплотнения (FDM) и множественный доступ с временным разделением каналов (TDMA). Приемопередатчик построен для автоматической реконфигурации каналов и маршрутизации, основанных на оценках динамических изменений в окружающей среде. Рассчитанный на работу в расширенном диапазоне с дальностью в несколько километров, DRACO поддерживает как защищенную передачу речевых сообщений и данных, так и незашифрованную видеопередачу с повышенной скоростью.

DRACO образуют высокоскоростную многоканальную СШП-сеть. Дальность действия двух передатчиков DRACO составляет приблизительно до 2 км и зависит от свойств местности. Конфигурация аппаратуры одного узла приемопередатчика DRACO показана на рисунке 4. Узлы DRACO поддерживают полную многофункциональность сети с помощью как зашифрованной речи или данных (12...16 кбит/с), так и сообщений с высокими скоростями от 115,2 кбит/с до 1,544 Мбит/с. В 2002 году в полевых условиях испытана сеть как совокупность восьми узлов DRACO с обеспе-

чением дальности связи, превышающей 1 км между узлами.

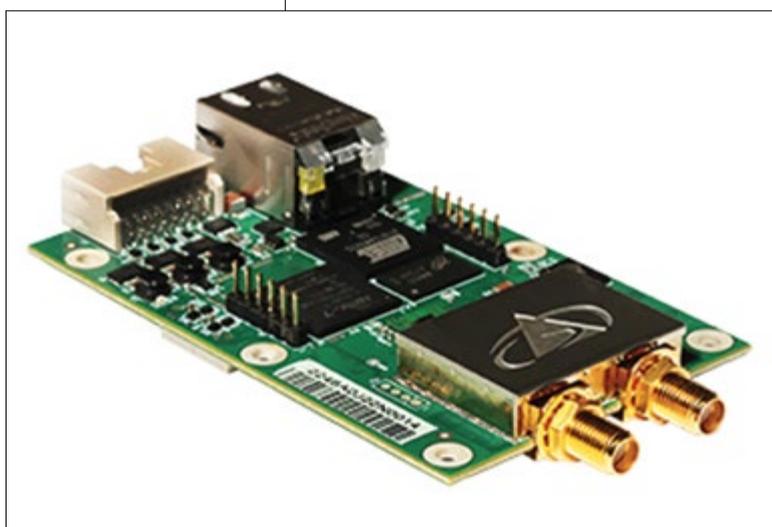
В 2002 году испытана и поступила на вооружение армии США радиостанция ORION, предназначенная для обеспечения связи в боевых действиях рот и взводов сухопутных войск с возможностью встречных перемещений на расстояниях от 1 до 60 км.

СШП-приемопередатчик ближнего действия ORION работает в диапазоне L (1...2 ГГц). Максимальная выходная мощность приемопередатчика – 0,8 Вт. При скорости передачи пакетов 2 Мбит/с обеспечивается средняя мощность 4 мВт или, по приближенному расчету, 8 кВт/Гц при мгновенной ширине полосы приемопередатчика 500 МГц. С короткой штыревой антенной (широкополосный диполь с коаксиальным экраном) эти устройства подтвердили рабочую дальность прямой видимости примерно 1 км (рисунок 5).

При тактической связи на малых дальностях работа системы осуществляется с использованием единственного ведущего устройства, которое охватывает все другие ведомые устройства (станции). Ведомые устройства входят в связь посредством ведущего устройства в звездообразной топологии. Если доступ к каналу гарантирован ведущим устройством, то ведомая станция передает речь и информационные пакеты через ведущую станцию в пункт назначения. Кроме связи в зонах прямой видимости (LOS) L-диапазона приемопередатчик ORION дополнительно обеспечивает функционирование магистральной линии связи на дальности до 50...60 км. Для режима непрямой видимости выбран диапазон рабочих частот 30...88 МГц. При мгновенной максимальной мощности около 120 Вт обеспечивается дальность связи до 15 км по земле и свыше 110 км над поверхностью воды. При этом пропускная способность канала составила 850 кбит/с, что достаточно для одновременной передачи сжатых видеосигналов и другой информационной нагрузки.

Важным положительным свойством импульсной UWB-технологии является возможность сочетания в одной СШП-системе функций связи, локального позиционирования и радиолокации. Корпорация Time Domain разработала модуль P-440 (рисунок 6), который может

Рис. 6. Модуль P-440



использоваться в режиме сетевой СШП-радиостанции на расстоянии от 300 до 1100 метров. В него встроены функции радара с точностью определения расстояния до 2 см и отслеживания текущего местоположения с точностью до 3 см (по данным сайта <http://www.timedomain.com>).

К основным недостаткам импульсной СШП-технологии можно отнести потенциальную интерференцию с существующими радиоэлектронными системами.

Неспособность современных средств радиоэлектронной разведки обнаруживать СШП-сигналы подтверждена в ходе проведенных в 2016 году демонстрационных испытаний российской СШП-системы связи «Изумруд».

АО «ВНИИ «Вега» разработана и в апреле 2016 года успешно испытана в шахте в Белгородской области микрозоновая система радиосвязи на базе импульсных СШП-сигналов. Она предназначена для построения систем внутри-объектовой связи и локальных вычислительных сетей со скоростью передачи информации до 40 Мб/с в труднодоступных подземных сооружениях, на временных командных пунктах, подводных лодках, в других труднодоступных местах, где традиционная радиосвязь невозможна.

В отечественных технологиях СШП-связи, превосходящих зарубежные аналоги, для систем тактической связи использованы изобретения российских специалистов В.В. Бондаренко, Г.А. Кыштымова. Они защищены патентами на изобретения № 2315424 RU 6 июня 2006 г. «Система связи с высокой скрытностью передачи информации сверхширокополосными сигналами», № 2 334 361 RU 15 мая 2006 г. «Устройство связи с повышенной помехозащищенностью и высокой скоростью передачи информации», № 2354048 RU 28 ноября 2006 г. «Способ и система связи с быстрым входением в синхронизм сверхширокополосными сигналами».

В этой технологии используется аналогичный импульсному радиоспособ формирования СШП-импульсов. Для возбуждения СШП-импульса без несущей используются биполярные видеоимпульсы в виде одного периода синусоиды, который наилучшим образом подходит по энергетическим параметрам. Спектр импульса наиболее приближен к частотным характеристикам штыревой антенны. Длительность

сверхкороткого видеоимпульса составляет 1-2 нс, что позволяет иметь небольшие габариты СШП-антенны и полосу излучения в диапазоне 200...1000 МГц, обеспечивающую дальность связи более 1 км.

К отличительным особенностям отечественной технологии СШП-связи можно отнести:

- структуру сигнально-кодовой конструкции канала, в которой в отличие от импульсного радио предусматривается передача одного информационного бита двумя-тремя мощными СШП-импульсами и с такой амплитудой, чтобы в точке приема сигнал превышал уровень шумов, сохраняя при этом среднюю энергетическую плотность;
- использование интервального кодирования с кодами малой плотности и высокой энергетической эффективностью;
- применение уникальной беспоисковой синхронизации СШП-канала, в котором импульсные сигналы малой плотности (большой скважности) могут практически без заметных потерь в помехоустойчивости приниматься некогерентно;
- новый способ защиты от помех путем компенсации помех с дисперсионной линией задержки, которая позволяет в сочетании с пороговым обнаружителем получить максимальную пропускную способность СШП-канала.

В 2014 году по результатам внедрения в ТЗУ цифровой высокоэффективной системы скрытной радиосвязи с СШП-сигналами Министерством обороны РФ принято решение о проведении дальнейших НИР по развитию перспективных систем радиосвязи с применением СШП-сигналов.

Принятый в стране курс на импортозамещение и импортнезависимость ставит перед нашими разработчиками электронных компонентов систем радиосвязи и другой радиоэлектроники задачу создания и применения новой отечественной элементной базы, высокоскоростных аналого-цифровых и цифроаналоговых преобразователей радиосигналов, программируемых логических интегральных схем высокой степени интеграции для обработки потоков цифровых данных со скоростью в несколько тысяч мегабит в секунду. ◆

Тайны гравитации

От модификаций квантовой теории поля
к материалистическому подходу в изучении физики
наблюдаемых явлений

ИГОРЬ ЖЕЛЕЗНОВ,
доктор технических наук,
профессор

Практически всю свою сознательную жизнь я пытался понять природу взаимодействия физических полей и материальных объектов. Не менее важными вопросами лично для себя я считал попытки объяснить, почему нейтральные материальные тела не распадаются на более мелкие нейтральные части из-за того, что в пустом пространстве внешнее давление на материальные тела отсутствует. Я совершенно не мог себе представить, как из ничего может образовываться материя в виде звезд, планет, тех же протонов, электронов и, наконец, квантов электромагнитного поля. Более того, я считал, что никаких носителей массы и зарядов не существует, поскольку указанные понятия являются лишь некоторой обобщенной интегральной характеристикой интенсивности взаимодействий материальных объектов. Изучение физической литературы показало, что значительная часть физиков-теоретиков считает, что современная квантовая теория поля и физики элементарных частиц в полном объеме располагает уравнениями для описания всех видов взаимодействия материальных тел.

Однако, по моему мнению, эти уравнения настолько сложны, что точных решений найти практически невозможно, а использование приближенных методов порой требует такого количества перенормировок, что эти процедуры скорее напоминают подгонку теоретических расчетов под ожидаемые результаты. Поэтому мир, который построен с использованием этой теории, весьма сложен, противоречив и не может быть интерпретирован с позиций здравого смысла.

В связи с этим важно отметить, что гипотезы ученых прошлого столетия о природе

электрических зарядов, неделимых кварков, партонов, бозонов Хиггса, а также результаты многочисленных экспериментов на ускорителях не позволили доказать существование и описать свойства самой элементарной частицы вещества. На данный момент сложилась ситуация, когда непонятно каким образом будут извиняться физики за некорректное истолкование результатов, полученных на коллайдере, якобы свидетельствующих о существовании бозонов Хиггса, единственных носителей массы вещества.

Практически все теории и гипотезы объединения взаимодействий считают законы Кулона, Ньютона и Планка фундаментальными законами, которые с необходимой полнотой описывают наблюдаемые в природе явления. Если более внимательно изучить математическое содержание этих законов, то нетрудно понять, что они представляют собой уравнения регрессии, построенные в результате обобщения опытных данных с использованием параметров, которые привели к ошибочным заключениям о природе электрических зарядов, гравитонов и фотонов.

В настоящее время открыто около 450 различных элементарных частиц. Однако только три частицы из всего перечисленного множества являются стабильными: протон, электрон и фотон. Все остальные не устойчивы во времени и распадаются, как полагаю, до уровня устойчивых частиц под воздействием набегающих на них потоков эфира и квантов звуковых волн, которые реально могут существовать в эфире, заполняющем окружающее нас пространство.

Я твердо убежден в том, что вопросы о существовании эфира, которые считаются крае-

угольными в современной физике, лишены всякого смысла ввиду того, что мир материальных объектов нами наблюдаем в каждый миг нашей жизни.

Следует отметить, что еще в студенческие годы на основе многочисленных расчетов мне удалось получить соотношение, которое в полной мере соответствовало моим интуитивным предположениям о природе эфира и о наблюдаемых в нем гравитационных и электрических взаимодействиях. Первоначально математическое выражение этого соотношения было записано в виде приближенного равенства:

$$\sqrt{2f} \cdot m_e \approx \frac{2}{3} m_e = \left(\frac{1}{2} + \left(1 - \frac{2}{3}\right) \cdot \frac{1}{2} \right) \cdot m_e, \quad (\text{п. 1})$$

где f – постоянная гравитации; m_n – масса протона; m_e – масса электрона.

В этом равенстве его правая часть свидетельствует о том, что с наветренной половиной электрона плоский поток эфира взаимодействует с исходной интенсивностью, а потом с интенсивностью, примерно равной 1/3, с его второй половиной. По моим представлениям, это означало, что примерно 2/3 от всего объема эфира, который проникает во внутренние полости электрона, будет израсходовано на генерацию квантов электромагнитного поля максимальной возможной частоты, равной

$$v_{max} = c \cdot R, \quad (\text{п. 2})$$

где c – скорость света, R – постоянная Ридберга.

По этой причине я считал, что электрон должен представлять собой накопительный резервуар (сферическое кольцо), во внутренней полости которого происходят процессы накопления такого количества энергии, которое необходимо для образования указанных выше квантов.

Левая часть равенства (п. 1) соответствовала предположению о том, что в законе И. Ньютона необходимо выделять коэффициент 1/2 как признак того, что в формировании сил гравитационного взаимодействия между *нейтральными телами* наибольшее влияние оказывает кинетическая энергия испускаемых ими потоков эфира. Из этого следовало, что закон всемирного тяготения для двух тел с массами протона можно выразить так:

$$F = f \frac{m_p m_n}{r^2} = \frac{1}{2} \frac{\sqrt{2f} m_e \times \sqrt{2f} m_e}{r^2} = \frac{1}{2} \frac{\Delta m_e \times \Delta m_e}{r^2}, \quad (\text{п. 3})$$

где f – постоянная гравитации; m_n – масса протона; Δm_e – величина, определяющая массу некоего гравитационного слоя протона.

Смысл элементарных преобразований, выполненных при записи соотношения (п. 3), позволил априори предположить, что между электрическими и гравитационными явлениями, возможно, существует глубокая взаимосвязь, а коэффициент ϵ , численно равный значению $\epsilon = \sqrt{2f}$, можно считать параметром, который характеризует глубину проникновения потоков эфира во внутренние полости протона.

В квантовой теории поля относительную силу сильного, электрического, электромагнитного, слабого и гравитационного взаимодействий обычно характеризуют следующим соотношением – $1:10^{-1}:10^{-2}:10^{-10}:10^{-38}$. Поскольку гравитационное взаимодействие в 10^{37} раз слабее электрического, то было ясно, что в опытах с заряженными частицами установить связь гравитации с электрическими и магнитными полями практически невозможно. По этой причине я считал, что при определении физической природы гравитации все теоретические расчеты необходимо проводить с максимально возможной точностью.

Конечная цель данной работы – доказать возможности создания локальной невесомости между двумя массивными материальными телами. При проведении этих исследований использовались потоковые уравнения, ранее полученные автором, которые определяют природу гравитационных и других видов взаимодействий материальных тел на основе известных законов механики. Относительно структуры материальных образований предполагалось, что они представляют собой сотовые структуры вещества, а эфир обладает свойствами разреженного газа, в котором может образовываться и длительное время существовать только один единственный вихрь.

ГРАВИТАЦИЯ В РЕАЛЬНОМ ЭФИРЕ

Силы гравитации. Моя точка зрения на природу возникновения гравитационных сил очень проста и состоит в том, что материальные тела

находятся в естественной среде обитания (эфире) и взаимодействуют друг с другом по известным законам механики и газодинамики.

Этот принцип взаимодействия был апробирован на примерах электрического взаимодействия протона и электрона в элементарном диполе, находящемся в свободном эфире. Высокая точность полученных потоковых уравнений позволяет надеяться на возможность их использования при расчетах сил гравитационного взаимодействия нескольких диполей.

Будем исходить из того, что в реальном эфире каждый диполь создает вокруг себя дополнительные потоки эфира и звуковых волн. Вполне естественно ожидать, что диполи двух взаимодействующих объектов в любой фиксированный момент времени могут находиться в различных пространственных положениях. Анализ множества этих положений показывает, что среди них наиболее частыми являются ситуации общего типа, когда протоны и электроны диполей взаимодействуют друг с другом.

Вывод из исследований заключается в том, что решение задачи гравитации в рамках потоковых уравнений существует и может быть найдено с помощью разработанного мною алгоритма. Более того, это решение вскрывает природу явления гравитации, определяя ее как меру интенсивности потокового перекрестного взаимодействия диполей, входящих в состав взаимодействующих материальных объектов. Из этого также следует, что гравитационных полей с единым носителем поля не существует, а поэтому никаких гравитонов, а тем более бозонов Хиггса, в природе нет и быть не может.

Локальная невесомость. Методика расчета сил гравитационного взаимодействия между двумя материальными телами была продемонстрирована на примере расчета сил взаимодействия, возникающих в гравитационной ячейке, состоящей из одного диполя второго тела и двух диполей первого тела, находящихся в противоположных пространственных положениях. Анализ гипотез, которые были взяты за основу при проведении этих исследований, показывает, что невесомость двух диполей первого тела относительно всех диполей второго тела можно достичь, если соответствующим образом изменить

вероятности пребывания диполей в пространственных положениях.

Для реализации невесомости одного массивного тела относительно другого очень большого массивного тела необходимо так воздействовать на электроны первого тела, чтобы траектории их полета около своих ядер стали более вытянутыми в направлении на второе тело. Из общих соображений можно предположить, что подобной ситуации можно достичь с помощью ультразвукового генератора, который воздействует на первое тело в направлении на второе массивное тело. Мощность и частота ультразвукового генератора должны обеспечивать условия относительной невесомости двух тел.

Эволюция Солнечной системы. Эволюция окружающего нас мира в значительной степени определяется термодинамическими процессами, протекающими на Солнце. Поскольку энергия электромагнитного излучения Солнца, по нашим взглядам, участвует в формировании поля его гравитации, то можно предположить, что на Солнце должно конденсироваться в вещество определенное количество энергии.

Можно утверждать, что Солнце, находясь в спокойном состоянии, за счет конденсации эфира несколько увеличивает свою массу, а в периоды повышенной активности теряет ее несколько пониженными темпами. Расчеты свидетельствуют об активных процессах конденсации эфира в недрах Солнца.

Отсюда следует, что для получения ответа на вопрос об интенсивности процессов конденсации эфира на Солнце важно определить величину постоянной гравитации на основании прямых локационных измерений траектории движения Земли около Солнца. Логика этого предложения очевидна, но возможности достижения требуемых точностей расчета по локационным измерениям априори неизвестны.

Если признать, что математические расчеты справедливы, то факт конденсации эфира в окружающем пространстве следует признать фундаментальным законом природы, а всю Солнечную систему считать космическим кораблем, в котором Солнце излучает в окружающее пространство всевозрастающие потоки электромагнитной энергии.

Красное смещение. Шкала внегалактических расстояний. По определению, частица Планка непрозрачна для набегающих на нее потоков эфира и звуковых волн. Поэтому на нее вблизи поверхности электрона, работающего в режиме «звук», будет действовать избыточное давление:

$$\Delta P_{\text{эфир}}^{\text{эфир}}(r=r_e) = \frac{1}{2} \left(1 - \frac{\Theta}{2} - \frac{1}{\gamma}\right) \rho \cdot c^2.$$

Под действием этого давления частица Планка может развить ускорение

$$\Delta W(r=r_e) = \frac{\Delta P_{\text{эфир}}^{\text{эфир}}(r=r_e) S_0}{m_0} \approx 10^5 \text{ см/сек}^2.$$

Если предположить, что вылетающая частица будет двигаться и дальше с этим ускорением, то время ее разгона до скорости света составит несколько десятков секунд, что не согласуется с существующими теоретическими оценками времени рождения фотона $\sim 10^{-8}$ сек.

В связи с этим избыточное давление, существующее на поверхности электрона в режиме «звук», не может рассматриваться в качестве единственного фактора, который обеспечивает разгонный этап движения частиц Планка.

По нашим представлениям, половина энергии звуковых волн внутри электрона идет на образование частицы Планка, а вторая – на создание избыточного давления, необходимого для разблокирования оболочки электрона и последующего разгона частиц Планка до скорости света.

Если принять эту концепцию рождения частицы Планка, то на нее в начальный момент движения будет действовать избыточное давление, равное

$$\Delta P_{\text{эфир}}^{\text{эфир}} \approx \frac{h \cdot 1 \text{сек}^{-1}}{2V_e},$$

где V_e – объем электрона.

Поскольку при индуцированном излучении выброс энергии звуковых волн, по-видимому, происходит в некотором телесном угле $\Delta\Omega$, то на частицу Планка, удаленную на некоторое расстояние r от точки своего рождения, избыточное давление $\Delta P_{\text{эфир}}^{\text{эфир}}$ будет воздействовать с силой:

$$F(r) = \frac{2\pi}{\Delta\Omega} \Delta P_{\text{эфир}}^{\text{эфир}} \frac{\sigma_0}{4\pi \cdot r^2} S_0.$$

Кроме того, на эту же частицу будет действовать тормозящая сила лобового сопротивления от набегающих потоков свободного эфира:

$$F_0^{\text{эфир}} = \frac{1}{2} c_{\text{эфир}} \rho \cdot c^2 S_0.$$

Очевидно, что до тех пор, пока выполняется условие $F(r) \geq F_0^{\text{эфир}}$, частица Планка будет двигаться с постоянной скоростью, равной скорости света. На расстояниях $r > r_{\text{торм}}$, когда $F_0^{\text{эфир}} \geq F(r \geq r_{\text{торм}})$ частица Планка начнет тормозиться с ускорением:

$$W(r \geq r_{\text{торм}}) = \frac{F_0^{\text{эфир}} - F(r \geq r_{\text{торм}})}{m_0} \quad (9.4.5)$$

Для наблюдателя, находящегося на расстояниях $r > r_{\text{торм}}$ от точки рождения частиц Планка, указанный выше процесс торможения будет восприниматься как эффект красного смещения спектров наблюдаемых излучений.

После остановки частицы Планка как вихревые образования начнут диффундировать и разрушаться. Поэтому небо с данного направления будет казаться темным. Это фактически означает, что фотометрический парадокс Ольберса можно разрешить без использования космологической модели Большого взрыва.

Эволюция вещества во Вселенной. Все материальные тела состоят из элементарных частиц, которые обладают сотовой структурой и могут быть построены с использованием одной-единственной частицы Планка. Сама она является сферическим вихрем, который возникает при соударениях встречных потоков звуковых волн во внутренней полости электрона. Относительно процессов аннигиляции этих частиц известно, что они протекают внутри атомов при пониженном внутриатомном давлении. Если придерживаться этих взглядов на возникновение и распад вещества, то модель преобразования эфира и его производных в масштабах всей Вселенной можно описать следующим образом.

В настоящее время постоянная гравитации f_1 , найденная экспериментальным путем, оказывается меньше теоретического значения f_3 , которое получено из потоковых уравнений, соответствующих закону Кулона. Так как $f < f_3$, то все массивные тела будут конденсировать эфир в своих недрах. Поэтому масса этих тел будет возрастать, и они с большими гравитационными силами начнут притягиваться к ядру галактики. При увеличении скопления масс вещества в центре

галактики из-за эффектов экранировки потоков эфира следует ожидать уменьшения его плотности. В свою очередь, это приведет к уменьшению действующих сил между протонами и электронами, а также к увеличению времени накопления энергии, необходимой для рождения частиц Планка. При уменьшении плотности эфира до некоторых критических значений начнутся процессы аннигиляции вещества. В зависимости от интенсивности они могут иметь характер взрывов «сверхновых» звезд, а также термоядерных реакций, связанных с частичным распадом вещества в относительно небольших локальных областях пространства.

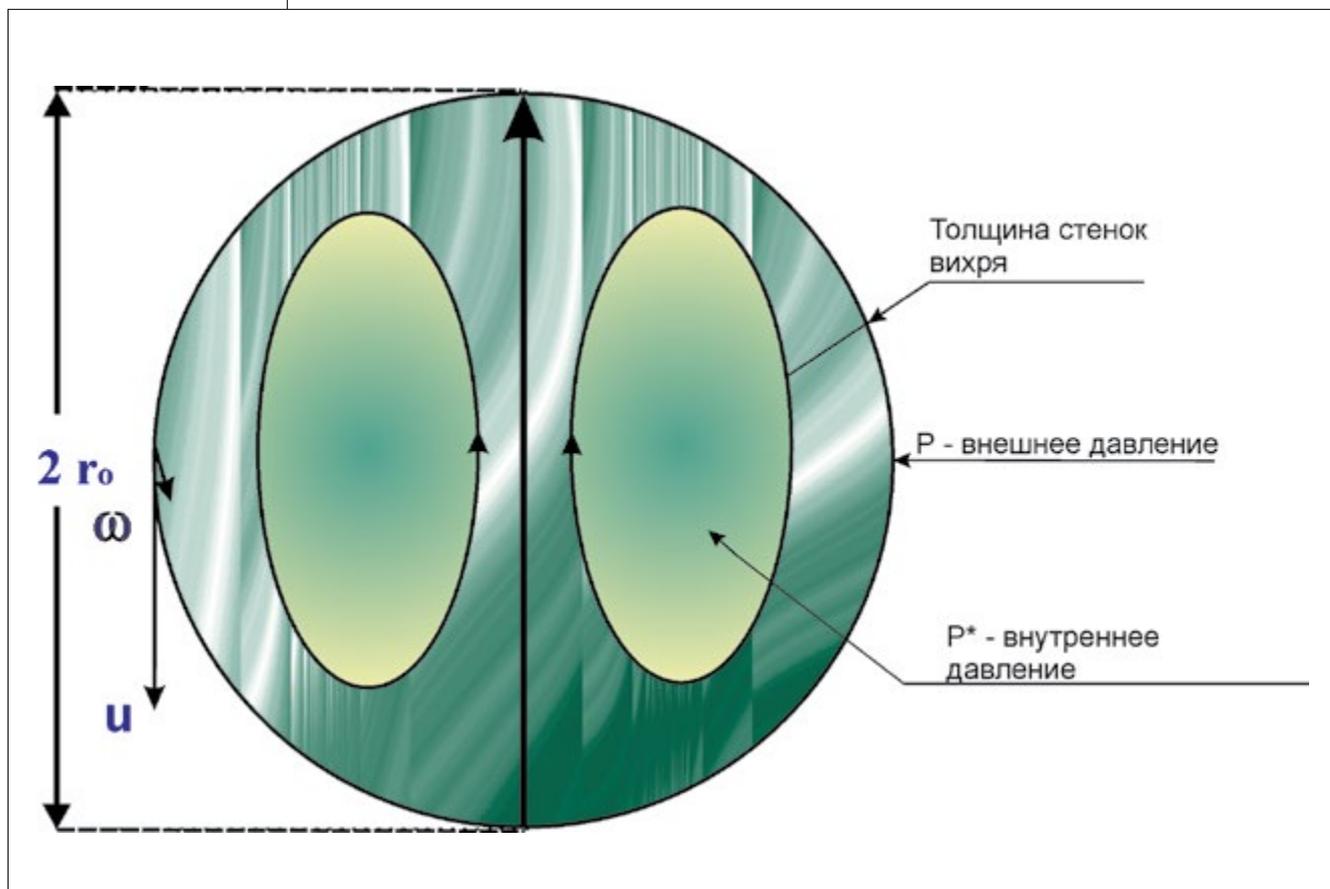
Поскольку эти процессы связаны с высвобождением большого количества энергии, то из ядер галактик должны вылетать протоны, уцелевшие атомы водорода, а также исходить другие излучения. По современным данным, общее количество вещества, испускаемого ядром нашей галактики, составляет примерно 1–1,5 массы Солнца в год. Начальная скорость движения

частиц газа равна ~50 км/сек, а в окрестностях Солнца составляет ~7 км/сек.

Из изложенного следует, что звезды всех галактик должны иметь поступательное движение от периферии к ее центру и, что важно, в процессе движения должны увеличивать свою массу за счет конденсации эфира.

Наша галактика и ряд других галактик имеют спиралеобразное строение. Существуют различные гипотезы о природе возникновения спиральных рукавов. По нашему мнению, наличие этих рукавов свидетельствует о почтенном возрасте таких галактик. Более того, их конфигурация, видимо, является решением грандиозной задачи, связанной с гравитационным взаимодействием большого числа распределенных в пространстве материальных тел. Если это предположение верно, то спиральные рукава галактик будут играть роль своеобразных гравитационных щупалец, которые притягивают вещество из межгалактического пространства и направляют его в центр галактики.

Рис. 1. Вихрь Хилла



Так как легкие тела будут притягиваться к ядру галактики с большими силами ($f < f_0$), то в пределах этих рукавов более быстрое движение протонов относительно наблюдателя должно восприниматься как их магнитное поле. Этот процесс наблюдается в действительности. Впервые он был обнаружен Джоном Холлом и Уильямом Хилтнером в 1949 году. В устойчивых галактиках кругооборот вещества и эфира должен происходить постоянно, и, как считал известный австрийский физик-теоретик, основатель статистической механики и молекулярно-кинетической теории Людвиг Больцман, суммарная энтропия Вселенной должна оставаться всегда величиной постоянной.

ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ ЭФИРА

Расчет термодинамических параметров. Эксперименты показывают, что искусственно созданные вихри представляют собой вращающиеся трубки, у которых внутренняя полость имеет существенно меньшую плотность, нежели их стенки. Однако такие тонкие вихревые нити в сжимаемом газе являются неустойчивыми материальными образованиями. Поэтому упрощенную модель частицы Планка было решено представлять в виде тороидального газового вихря, который по форме совпадает со сферическим вихрем Хилла (рис. 1).

Для такой модели вихря на каждую частицу эфира, движущуюся по его внешней поверхности, действует центробежная сила и разность внешнего и внутреннего давлений.

Энергия эфира и возможности ее использования. Давление в свободном эфире равно:

$$P = \frac{\rho \cdot c^2}{\gamma},$$

где ρ – плотность эфира,

$\rho = 0,3017286 \times 10^{-16}$ г/см³;

c – скорость света,

$c = 2,99792 \times 10^{10}$ см/сек;

γ – показатель адиабаты, $\gamma = 1,5$.

Поэтому в каждом кубическом сантиметре $\Delta V_0 = 1$ см³ будет находиться следующее количество энергии: $E_0 = P \times \Delta V_0 = 1,8078 \times 10^4$ эрг. (E , эрг – энергия частицы Планка).

Полученная величина энергии E_0 на 33 порядка меньше той, которая приведена в работах по общей эфиродинамике ($E_3 \sim 10^{34}$ эрг) нашего соотечественника Владимира Ацюковского. Несмотря на такую разницу в оценках, все же возникают вопросы о возможности использования энергии эфира для осуществления космических перелетов и создания высокоэффективных энергетических установок. При решении этих вопросов мы будем исходить из того, что нам удалось не только открыть природу электрических взаимодействий, но и установить, что электрические силы своим происхождением обязаны неравновесному взаимодействию поверхностных оболочек протонов и электронов, которое возникает под воздействием набегающих на них плоских потоков эфира и звуковых волн.

Конструкция двигателей космических кораблей должна обладать свойствами сотовой структуры вещества, поскольку она позволяет при одном и том же расходе рабочего тела достичь существенно большей мощности, нежели обычные ракетные двигатели.

Подтверждение гипотезы о наличии эфирных излучений получено радиолюбителями, которые с помощью антенн индукционного типа устанавливали радиосвязь в тех случаях, когда это невозможно было сделать с помощью обычных антенн из-за плохих условий распространения радиоволн. В настоящее время особую значимость приобретают вопросы использования эфирных излучений для создания высокозащищенных систем связи и радиолокации.

ПОРА ПРЕКРАТИТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ НАСИЛИЕ НАД ПРИРОДОЙ

В результате анализа сложных уравнений выяснилось, что взаимодействие элементарных зарядов различной полярности может быть адекватно описано в том случае, когда сотовые мидели протона и электрона равны друг другу, параметры режимов их работы соответствуют определенным значениям, а радиус электрона должен быть близок, но все же меньше радиуса протона.

Аналитические исследования эффектов сильного взаимодействия элементарных частиц приводят к выводу, что при слиянии двух нуклонов происходят процессы разрушения их поверхностных слоев на глубину сотых миделей. Совпадение теоретической энергии связи двух нуклонов с экспериментальной оценкой, найденной по результатам испытаний водородных бомб, получилось таким, что с уверенностью можно говорить об аэродинамическом происхождении этого вида взаимодействия. Доказано, что электрические и ядерные силы возникают и проявляются как результат взаимодействия частиц Планка, находящихся в поверхностных слоях протонов и электронов. Ядерные силы существуют всегда. К ним относятся постоянно действующие силы парного аэродинамического взаимодействия частиц Планка и силы поверхностного натяжения, возникающие в протонах и электронах при обтекании их потоками эфира и звуковых волн. Проведенные расчеты позволили определить основные термодинамические параметры эфира и охарактеризовать условия, при которых возможно длительное существование материальных образований с ядерной плотностью. Кроме того, они показали, что расщепление энергетических уровней в водородоподобных атомах (сдвиг Лэмба) обусловлено тем, что в моменты пересечения электроном сферы отталкивания ядра (сферы Бора) происходит его торможение с кулоновскими силами. В конечном итоге это приводит к тому, что на эллиптических орбитах с достаточно большим эксцентриситетом можно выделить два характерных участка: торможения и разгона электрона.

Доказано, что интегральные характеристики тормозных и разгонных импульсов для рассматриваемых атомов с высокой точностью можно рассчитать на основе известных законов небесной механики. Поэтому сдвиг Лэмба следует исключить из числа тех опытов, которые подтверждают обоснованность основных положений квантовой электродинамики. Если электрон движется по орбитам, которые не пересекают сферу отталкивания Бора, то сдвиг Лэмба не возникает. Подтвердить этот факт можно тем,

что в видимом диапазоне частот сдвиг уровней отсутствует.

При анализе тонкой структуры полей излучения протона и электрона установлено, что около этих объектов в режиме работы «звук» существует множество сфер отталкивания.

Анализ взаимодействия диполей в реальном эфире позволил доказать, что гравитация как мера коллективного взаимодействия двух материальных тел является суперпозицией всего множества перекрестных взаимодействий диполей первого тела с диполями второго тела и наоборот. Мои расчеты свидетельствуют о том, что теоретическая величина постоянной гравитации, найденная из условий абсолютно точного выполнения закона Кулона, с высокой точностью совпадает с ее экспериментальным значением.

В совокупности это подтверждает, что созданная теория электрических, сильных и гравитационных взаимодействий находится в полном согласии с законами Ньютона, Кулона, Планка и не противоречит опытным данным по ядерным взаимодействиям. В этой связи автор хотел бы надеяться, что полученные результаты позволят сдвинуть процесс создания единой теории поля с мертвой точки в верном направлении.

Обобщая итоги проведенных исследований, можно утверждать: эфир существует, около протонов и электронов имеется множество сфер отталкивания, наша Вселенная живет и развивается по стационарным законам, большого взрыва не было, самая элементарная частица вещества давно известна, на всех уровнях деления материи законы физики имеют одну и ту же природу своего возникновения – механическую.

Видимо, наступил момент, когда математическое насилие над природой в виде описания ее свойств с помощью различного рода модификаций квантовой теории поля, специальной и общей теории относительности следует прекратить и, разумно преодолевая хитрости релятивизма, серьезно задуматься над созданием действительно материалистического подхода к изучению физики наблюдаемых явлений. ◆

Перспективы создания искусственного интеллекта

Над проблемами создания искусственного интеллекта (ИИ) работы ведутся издавна. Во второй половине XX века создан не вполне обычный для того времени математический аппарат, называемый интеллектуальным: полносвязные, сверточные, рекуррентные нейросети, обучаемые с учителем и без, с подкреплением глубинными, возможностью-вероятностными методами на основе теорий вероятности и нечетких множеств, их комбинации и модификации, и другими методами: эвристическое программирование, теория нечетких множеств (ТНМ), многозначная логика, генетические алгоритмы, мультиагентные и экспертные системы, включающие импликацию ТНМ (рис. 1).

В современных условиях возник бум в интеллектуализации технических систем и средств. Причины бума не столько в достижениях в науке, в математике и технике, сколько в инновационной деятельности компаний по коммерциализации ранее накопленных знаний, возросших вычислительных возможностей электроники и ее миниатюризации в широком перечне прикладных применений в производстве, медицине, военном деле, борьбе с преступностью и в быту.

Многообразие научных направлений в сферах ИИ не исчерпывается приведенным выше списком математических средств и приемов. Десятки лет фундаментального изучения функционирования мозга показывают, что исследователи находятся в самом начале пути, что интеллект – сложнейший результат физиологического, психологического, общественно-развития человека в окружающем его мире, расширяющемся по мере его познания.

Отметим, что неполнота и противоречивость имеющихся знаний об интеллекте, в том числе полученных в прошедшем с середины XX века периоде технической реализации созданных

методов интеллектуальной обработки информации и управления, не позволяют сформулировать конструктивное единое определение интеллекта, а также «знаний» и «жизни» как факторов и условий возникновения и развития. Существующие в настоящее время обобщенные определения, например «интеллект – это мыслительная способность, умственное начало у человека, определяющее его деятельность», не отражают его сути и недостаточны для получения ответов на вопросы, сформулированные современной наукой. Также понимания «жизни» только как «способа существования белковых тел в постоянном обмене с внешней природой», согласно Ф. Энгельсу, недостаточно, чтобы осознать это важнейшее и, может быть, единственное условие возникновения и развития интеллекта, известное нам сегодня.

Марвин Ли Минский, ученый, работавший в области ИИ, сооснователь Лаборатории искусственного интеллекта в Массачусетском технологическом институте, такие понятия, которые допускают возможность вкладывать в них разные смыслы, назвал «слова-чемоданы» («portmanteau words»), позаимствовав из книги «Алиса в зазеркалье» Льюиса Кэрролла.

По мнению авторов настоящей статьи, современные представления об «искусственном интеллекте» более показательно сравнивать с облаком: на расстоянии – четко, а вблизи – туман.

Неопределенности в понимании сущности ИИ пока не мешают. Но, может быть, именно они позволяют разработчикам широкой номенклатуры систем управления современных автомобилей, навигации, транспорта, робототехники, компактных гаджетов, бытовой техники, комплексов вооружения с элементами «разумного поведения» декларировать интеллектуальность их продукции. Однако то, что считают

РОМАН ДУРНЕВ,
заместитель
начальника научно-исследовательского управления ФГБУ «Российская академия ракетно-артиллерийских наук» (ФГБУ «РАРАН»),
доктор технических наук,
доцент

КИРИЛЛ КРЮКОВ,
руководитель секретариата Совета главных конструкторов по системе вооружения сухопутной составляющей сил общего назначения, кандидат психологических наук, ФГБУ «РАРАН»

ИРИНА ЖДАНЕНКО,
старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский научно-исследовательский институт по проблемам гражданской обороны и чрезвычайных ситуаций (федеральный центр науки и высоких технологий)»

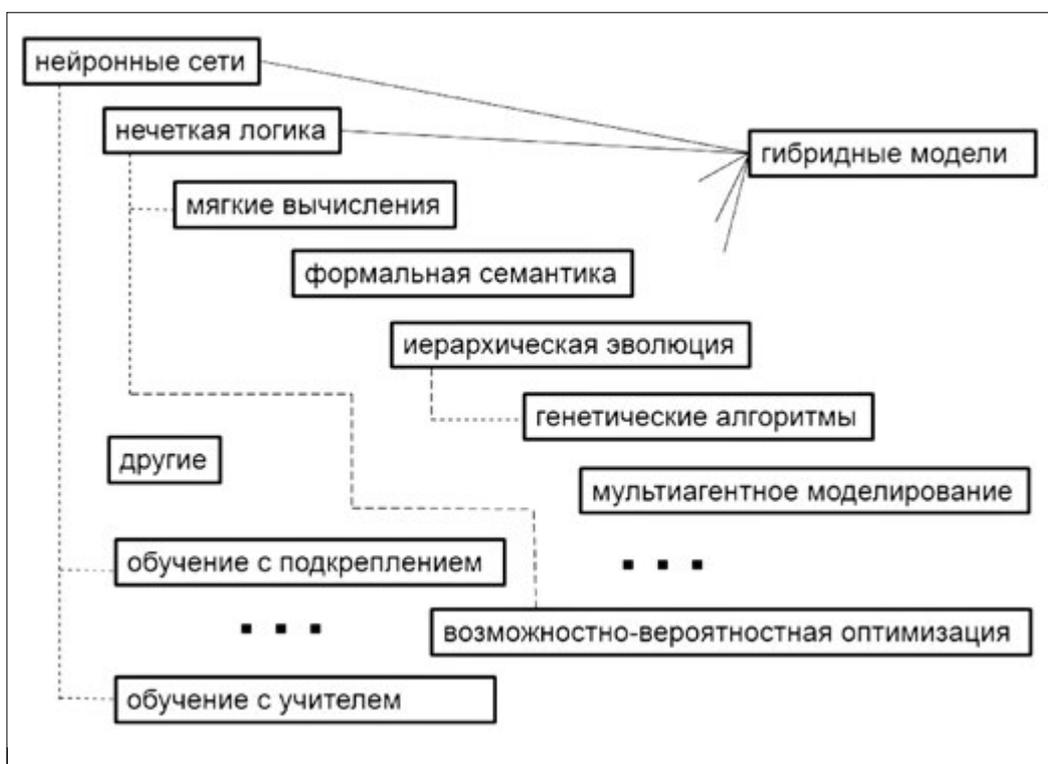


Рис. 1. Структура математических методов, используемых в работах по ИИ

интеллектом новейшей техники, ученые по многим причинам определяют как «слабый ИИ».

Во-первых, «слабый ИИ» образован алгоритмами, запрограммированными на компьютерах в виде нулей, единиц, определенных слов и дополнительных символов. Так, глубокое обучение нейросетей все равно является собой отладку алгоритма. Они работоспособны только в ситуациях, предусмотренных разработчиками для обучения.

Во-вторых, перечисленные в начале статьи математические средства используются для оптимизации решений, классификации объектов в соответствии с заранее установленными критериями, для интерполяции и экстраполяции данных, например статистических, геологических, картографических. Но это вполне удовлетворительно обеспечивали издавна существовавшие традиционные способы.

Конструкторы либо копировали сеть нейронов в мозгу человека, как у МакКаллока-Питса (Warren Sturgis McCulloch и Walter Pitts – создатели первых математических моделей нейрона, механистической модели мышления и основоположники теории искусственного интеллекта), либо воспроизводили эволюционные алгоритмы, как у Джона Генри Холланда (John Henry Holland), профессора психологии,

электротехники и информатики в Мичиганском университете, либо оперировали с рассуждениями на естественном языке, как у Л. Заде (Lotfi Askar Zadeh), автора термина «нечеткая логика» и одного из основателей ТНМ. Результатами имитации биологических процессов методами и алгоритмами «слабого ИИ» были большая эффективность вычислительных процедур и антропоморфные черты.

В сверточных нейросетях и других новых математических средствах специалисты видят возможности реализации некоторого краткого перечня частных функций интеллекта и имитации мыслительных процессов. Обратим внимание, что ученые, работающие в сфере ИИ, осторожны и, как правило, говорят именно об имитации человеческого мышления, о том, что искусственные нейросети как часть методов «слабого ИИ» не являются воспроизведением реальной структуры мозга, выявленной при «подглядывании» за природой. Это абстрактная модель, созданная для решения оптимизационных задач, и всего лишь «формализм машинного обучения». «Слабому ИИ» еще очень далеко до «человеческого интеллекта». Наверное, это правомерно еще и потому, что все больше накапливается сведений об интеллекте у животных.

Совокупности средств «слабого ИИ» с классическими разделами математики – исследованием операций, системным анализом, теорией принятия решений, кибернетикой – сегодня являются базой и элементами алгоритмизации множества автоматических и автоматизированных процессов, выполняемых или создаваемых без участия человека. Но принципиальным фактором является то, что автоматизация неосуществима в неалгоритмизированном пространстве без четко определенных шагов и порядка их выполнения. Например, военное управление с его разнородными, взаимозависящими, но слабо взаимосвязанными и согласованными этапами и процедурами, осуществляемыми на различных уровнях, несовершенно, с точки зрения специалиста по ИИ. Причина в том, что его полная формализация и алгоритмизация невозможны. Необходимо отметить, что, в отличие от управления войсками, управление оружием и некоторыми видами боеприпасов поддается достаточно точному математическому описанию. Но в целом перечень доступных для автоматизации отдельных ситуаций ограничен. Для освоения всего их бесконечного разнообразия предстоит долгое развитие.

Современные математические средства пока недостаточны для того, чтобы полностью исключить роль и функции человека в творческих процессах формирования целей, задач действий, их планирования и реализации в реальном времени. Является ли это задачами ИИ?

Характеристики персональных ЭВМ от модели к модели улучшаются экспоненциально при неизменных геометрических размерах и энергопотреблении. Возникла иллюзия роста вычислительной производительности, в том числе компактных устройств, до величин, недоступных даже сверхбольшой советской ЭВМ ЕС-1066 (2,5 миллиона операций в секунду при решении планово-экономических задач, 5 миллионов – при решении специальных научно-технических задач, оперативная память – до 32 мб), на которых отрабатывались алгоритмы, считающиеся интеллектуальными.

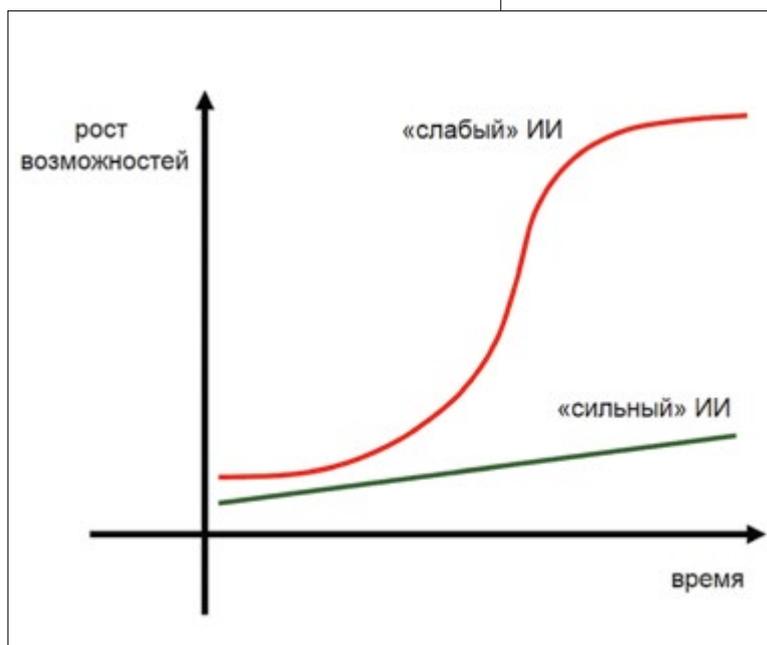
Но миниатюризация в электронике близка к пределу, что показывает «многоядерность» процессоров. Сегодня категорично утвержда-

ется, что в ближайшее время один из размеров транзистора на кремнии уменьшится до 10-20 атомов. В этих условиях наибольшую роль приобретут квантово-механические эффекты и связанные с ними неопределенности в импульсе, траектории, вероятности нахождения электронов в определенной области. Учет и устранение влияния таких неопределенностей на современном уровне развития науки и техники неразрешимы, и крутое совершенствование «слабого ИИ» и систем автоматизации уже в недалекой перспективе сменится более пологими изменениями (рис. 2).

Иллюзия «развития и прогресса» «слабого ИИ» возникла с использованием нейросетевой технологии. В ее основе лежат матричные вычисления с огромными таблицами сигналов, приходящих к нейронам, их весов, ошибок. Вычисления осуществляются на мощных графических процессорах – таких, которые были разработаны для видеокарт из компьютерных игр, также работающих в пространстве матриц изображений.

Разработка «сильного ИИ» для решения творческих интеллектуальных задач, являющихся прерогативой человека, и для работы в неалгоритмизированном пространстве в различных неформализованных ситуациях может проводиться по следующим направлениям:

Рис. 2. Условное представление современного соотношения темпов роста возможностей «сильного» и «слабого» ИИ



- разработка ИИ в виде программ на ЭВМ;
- усовершенствование человека с целью повышения его когнитивных способностей;
- создание биокибернетических систем, служащих подспорьем человеку в его мыслительных процессах.

По первому направлению активно разрабатываются структурные модели мозга, в основном коры больших полушарий, называемой «неокортексом». «Коннектом» (connectome) – полное описание структуры связей в нервной системе организма, – созданный с помощью нано-нейрохирургов, будет сопряжен с роботизированным телом (аватаром), чтобы обеспечить ему доступность визуальных, слуховых, тактильных и других ощущений. В этих моделях делаются попытки определить место всех нейронов (у человека около 100 млрд) со всеми их связями (порядка 10-15 тыс. на один нейрон). «Коннектомы» некоторых простейших существ известны много лет.

Для исследований применяются магнито-резонансная и позитронно-эмиссионная томография, электроэнцефалография, микроскопы для изучения тончайших срезов мозга. Предполагается цифровизация нейронов и их связей с помощью нанороботов и нейрохирургическая замена нейронов в мозгу транзисторами в компьютере. Но серьезных успехов не наблюдается, несмотря на размах проектов и заявления исследователей. Структурную модель мозга нематоды, существующую около 30 лет, в которой учтены все 302 нейрона этого существа и все их связи, больше напоминающую словарь без значений слов, «оживлять» еще не научились.

Сложность этой задачи по отношению к мозгу животных существенно возрастает при обращении к мозгу человека. Чтобы просто провести структуризацию, потребуются десятки лет кропотливого труда. Гигантская модель нейронных связей крайне затруднит ее использование для имитации мыслительных процессов, протекающих одновременно с другими функциями мозга, включая обеспечение жизнедеятельности.

Специалисты в области ИИ нацелены только на имитацию мышления, а не создание мысли-

теля. Им пока интересен не весь мыслительный процесс, а его часть, связанная с сознанием и разумом – функцией неокортекса. Пока не рассматривается связь процессов мышления с работой отделов головного мозга, сформированных в разные исторические периоды развития человека, отвечающих за чувства, эмоции, инстинкты. Разработчики ИИ, не понимая соотношений между функциями отделов мозга, пытаются копировать и даже совершенствовать высшие психические функции и мыслительные процессы.

Другой путь создания «сильного ИИ» в виде программы на ЭВМ – разработка функциональных моделей мозга. За неимением диагностических, сканирующих, компьютерных и других технологий исследователи практически во всех сферах человеческой деятельности во множестве творили то, что было доступно, – мысленные модели процессов мышления. В последнее время адекватность моделей стали проверять в психо-физиологических экспериментах, тестах, опросах. Сегодня самая обобщенная их классификация сведена в многотомное собрание.

Из последних моделей наиболее системной, на наш взгляд, является запоминающе-прогностическая модель Дж. Хокинса (разработчик компьютеров в Силиконовой долине, основатель Редвудского института нейрологии, исследующего проблемы интеллекта и памяти, действительный член Национальной инженерной академии и ученого совета Cold Spring Harbor Laboratory). В ней рассматриваются алгоритмы восприятия сенсорных сигналов, способы запоминания окружающего мира, принципы формирования прогнозов мышления и действий, а также то, что отличает человека от животного, – самоанализ или интроспекция, то есть осознание самого себя, собственных мыслей, способность сосредоточиться на самом себе, как на предмете, обладающем своими специфическими значениями и устойчивостью, познавать самого себя.

Автор модели отмечает, что попытки создания разумных машин проваливаются из-за фундаментальной ошибки – стремления воссоздать человеческое поведение без учета биологической природы разума. На рубеже 2010 года

футуролог и специалист по ИИ Рэй Курцвейл утверждал, что данная модель переводится в машинный код для запуска на компьютере. Но информации об успехах или неудачах, к сожалению, нет.

Существует еще одно предположение, что «сильный ИИ» зародится и будет развиваться на основе «мозговой сети» (сеть BRAINet). В сети мыслительные сигналы от человека к человеку передаются с использованием сетевой телепатии (нанозонды в мозгу, сканирующие устройства), телекинеза, загрузки воспоминаний и стимулирования мозга, мысленной связи между людьми и с компьютерными устройствами.

Одна из проблем создания «сильного ИИ» в виде программы на ЭВМ – недостаточность вычислительных возможностей, ограничивающих решение даже слабо интеллектуальных задач, которые легко решают маленькие дети. Для распознавания кошачьих мордочек Cat Detector от Google использовал 1000 серверов с 16 000 ядер. «Умный» вертолет с аппаратурой для выполнения подобной крайне узкой функции не поднялся бы в воздух.

Трудно представить компактное устройство, например робот-андроид для игр в шахматы или древнюю китайскую логическую игру «Го» с человеком. В первом случае в этот робот нужно вставить несколько шкафов суперкомпьютера DeepBlue (IBM), выигравшего у Г. Каспарова в 1997 г., во втором – 1920 CPU (центральных процессоров) и 280 GPU (графических процессоров), победивших в игре «Го» сильнейшего игрока Ли Седоля в 2016 году. И это практически на предельных возможностях кремния!

Компьютеры и соответствующее программное обеспечение будут узкоспециализированными только для игры в свои дискретные игры с полной информацией, для которых важна только текущая позиция и не значима предыстория. Для них крайне эффективны различные переборные методы с дополнительными правилами, как эти переборы сокращать. Но в более сложном покере, где требуется память ходов, ставок, возможностей игроков, умение дезориентировать соперников (блефовать), ИИ не так силен.

Ведущие компании микроэлектроники Intel, AMD, готовясь к «пределу кремния», активно ищут другие решения. Создают трехмерные транзисторы, используют не-кремниевые материалы (например, графен), развивают обратимые и квантовые вычисления и тому подобное. Но все пути, как часто бывает при эволюционном развитии техники, помимо очевидных преимуществ, например в скорости, обладают серьезными недостатками. Трехмерные транзисторы выделяют тепло, как обогревательные приборы, не-кремниевые материалы чувствительны к параметрам тока, квантовые вычисления критичны к нарушению когерентности состояний элементарных частиц.

Преодолев указанные недостатки, мы встретимся с пределом трехмерных транзисторов, графена, нанотрубок и приступим к поиску очередных путей повышения производительности или более точно – соблюдению массогабаритных параметров компьютеров, соответствующих нуждам и свойствам человека. Если при наступлении пределов каких-то материалов не будут найдены приемлемые решения – компьютеры будут увеличиваться в массе, расти вширь, потреблять все больше энергии. Так как человеку любопытному нужно решение все более сложных задач, то компьютеры, например для вычисления невообразимого числа знаков после запятой в числе π , могут, по шутливо-серьезному сценарию Рея Курцвейла, поглотить энергию всей Вселенной...

Но и это не самое главное. Разработки будущего – трехмерные транзисторы, графен и другие работают только с алгоритмами, состоящими из нулей и единиц или большего числа таких состояний в квантовом компьютере за счет различных сочетаний нулей, единиц и их суперпозиций. Именно конечность алгоритмов – камень преткновения на пути создания «сильного», то есть настоящего интеллекта. Об этом и многом другом поговорим в следующих статьях этой серии.

Авторы отдают себе отчет в том, что приведенные выше рассуждения не претендуют на серьезное приближение к истине, приветствуют любую критику и дискуссию в этом вопросе. ♦

ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ ОБУЧАЕТ ВОЗДУШНОМУ БОЮ

Управление перспективных исследовательских проектов Министерства обороны США (Defense Advanced Research Projects Agency – DARPA) 17 мая начало поиск соискателей для исследований по программе Air Combat Evolution (ACE). Ее цель – автоматизировать процесс управления истребителем в воздушном бою с помощью искусственного интеллекта.

«Возможность доверять бортовым вычислительным машинам имеет решающее значение, поскольку мы движемся к будущим войнам с участием пилотируемых платформ, сражающихся вместе с беспилотными системами, – рассказал подполковник ВВС США Дэн Яворсек (Dan Javorsek), руководитель программы ACE. – Мы предвидим будущее, в котором искусственный интеллект будет обрабатывать маневры за доли секунды во время боя в пределах прямой дальности, обеспечивая безопасность летчиков и делая их работу более эффективной».

Программа ACE предназначена для обучения искусственного интеллекта правилам воздушного боя так же, как обучают новичков в истребительной авиации: начиная с базовых маневров истребителя в простых боевых сценариях «один на один», а затем переходя к более сложным и быстроменяющимся ситуациям. Благодаря внедрению



«Валькирия» в небе над Аризоной

искусственного интеллекта в управлении самолет получит автономность, при этом окончательное решение всегда будет оставаться за пилотом.

ACE является частью более масштабных исследований DARPA в области так называемой «мозаичной войны» («mosaic warfare»). «Агентство ищет способы перенести воздушный бой из исключительной сферы пилотируемой авиации в будущее, где пилотируемые самолеты будут действовать в сочетании с менее дорогими беспилотными летательными аппаратами (БЛА). Считается, что БЛА могли бы более эффективно противостоять изменяющимся угрозам, поскольку они разрабатывались бы, запускались и модернизировались с использованием новейших технологий быстрее

и дешевле, чем пилотируемые самолеты. Объединение пилотируемых самолетов с беспилотными системами создает мозаику, в которой отдельные части можно легко перекомпоновывать для создания различных эффектов или быстрой замены в случае уничтожения, что приводит к более устойчивым боевым возможностям», – объяснили в DARPA.

Беспилотный летательный аппарат «Валькирия» (XQ-58A Valkyrie), который создают в рамках концепции Loyal Wingman, должен будет летать вместе с пилотируемыми истребителями четвертого и пятого поколений. Свой первый полет «Валькирия» выполнила 5 марта 2019 года на испытательном полигоне Юма (Yuma), штат Аризона.

FlightGlobal, May 13, 2019

ДЕМОНСТРАЦИЯ ПРОРЫВНЫХ ЛЕТНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Впервые в истории авиации летательный аппарат маневрировал в полете с использованием сверхзвукового потока воздуха, что устраняет необходимость в сложных подвижных поверхностях управления полетом.

В серии новаторских летных испытаний, которые проходили в небе над северо-западным Уэльсом, беспилотный летательный аппарат MAGMA продемонстрировал две инновацион-

ные технологии управления потоком воздуха, которые могут революционизировать конструкцию будущего самолета.

MAGMA, разработанная исследователями Манчестерского университета в сотрудничестве с инженерами из BAE Systems, 1 мая успешно прошла испытания.

Технологии разработаны для улучшения контроля и летно-технических характеристик

самолета. Заменяя движущиеся поверхности более простым решением для продувки воздухом, испытания позволили инженерам создать более эффективные летательные аппараты, которые легче, надежнее и дешевле в эксплуатации. Технологии могут улучшить скрытность самолета, поскольку они уменьшают количество промежутков и краев, которые в настоящее время делают самолет более заметным на радаре.

В ходе испытаний продемонстрированы две технологии.

Во-первых, забирался воздух из двигателя самолета и продувался ультразвуком через узкие щели вокруг хвостовой части крыла особой формы, чтобы управлять самолетом.

Во-вторых, осуществлялось управление воздушным судном путем продувки воздушных



форсунок внутри сопла, чтобы отклонить струю выхлопных газов и создать управляющую силу.

Это последний технологический прорыв, достигнутый в результате сотрудничества BAE Systems с академическими и промышленными кругами.

News releases. BAE Systems, 2 May 2019

Беспилотный летательный аппарат MAGMA

DYNETICS СОЗДАСТ ЛАЗЕРНОЕ ОРУЖИЕ МОЩНОСТЬЮ 100 КВТ

Американская частная (принадлежащая сотруднику) компания по прикладным наукам и информационным технологиям Dynetics вместе со своими партнерами получила контракт от Командования космических и противоракетных войск США (USASMD/ARSTRAT) на сумму 130 млн долл. на создание и испытание демонстратора высокоэнергетического лазерного тактического транспортного средства (HEL TVD) мощностью 100 кВт.

Корпорация Lockheed Martin, как системный интегратор лазерного оружия, предоставит подсистему, оптимизирующую производительность лазерного модуля, систем питания и охлаждения, а также интерфейсы оператора.

Фирма Rolls-Royce LibertyWorks разработает интегрированную систему управления питанием и тепловым режимом, чтобы успешно соответствовать или превосходить требования программы HEL TVD. Конструкция данного узла будет основана на наработках, финансируемых из внутренних источников, которые продемонстрировали технологии и возможности в этом классе мощности. Система обеспечит высокий уровень управления электрической и тепловой энергией.

Dynetics будет отвечать за окончательную сборку, интеграцию и тестирование системы.

Впоследствии команда конструкторов разработает, построит и установит систему лазерного оружия на платформу армейского среднего тактического транспортного средства (Family of Medium Tactical Vehicles – FMTV), проведет ее полевые испытания на ракетном полигоне «Белые пески» в Нью-Мексико.

Dynetics, Inc., May 15, 2019



ПЕРВЫЙ ПОЛЕТ СОВЕРШИЛ САМЫЙ БОЛЬШОЙ САМОЛЕТ В МИРЕ

Компания Stratolaunch Systems провела первый испытательный полет самого большого в мире самолета.

По сути, это гигантская летающая стартовая площадка, предназначенная для запуска космических аппаратов на низкую околоземную орбиту. Он предлагает военным, частным компаниям и НАСА более экономичный способ доставки объектов в космос.

«Независимо от полезной нагрузки, независимо от орбиты, вывести ваш спутник в космос будет так же легко, как и забронировать билет на самолет», – сказал генеральный директор компании Jean Floyd.

Размах крыльев самолета составляет 385 футов (117,35 м) – больше, чем у любого самолета на планете. Длина от носовой части до хвостового оперения – 238 футов (72,54 м). Вес около 227 тон. У него две кабины – по одной в каждом фюзеляже, но только одна используется для полета.

После летных испытаний и сертификации запланирован полет с полезной нагрузкой. Предусмотрено, что самолет сможет поднимать на высоту 35 тыс. футов (10 668 м) космическую ракету со спутником, который она сможет доставить на орбиту, находящуюся на высоте от 300 до 1200 миль над Землей (482–1931 км).

Стоимость самолета не раскрывается. Он изготовлен в основном из углеродного волокна. Самолет оснащен шестью двигателями Pratt & Whitney, которые изначально были разработаны для Boeing 747. Его шасси, которое включает в себя 28 колес, также было впервые разработано для 747-х.

Ожидается, что запуски небольших спутников с помощью такого самолета будут значительно дешевле, чем при исполь-



Самолет Stratolaunch

зовании традиционных ракет, поскольку отпадет необходимость наличия дорогостоящих стартовых площадок, оборудования и инфраструктуры. Значительная экономия может быть получена также благодаря существенному уменьшению расходов топлива. Другим преимуществом станет снижение зависимости от метеоусловий. Самолет может облетать зоны с плохой погодой. Кроме того, запуски могут осуществляться чаще и в более короткие сроки.

У самолета Stratolaunch уже есть конкурент – компания Virgin Orbit. Она планирует использовать самолет Boeing 747-400 для запуска спутников на орбиту.

Проведение первого испытания намечается где-то в середине года.

CNN, April 13, 2019

РОБОТ ВЫПОЛНИТ САМУЮ ОПАСНУЮ РАБОТУ НА ПОЛЕ БОЯ

Беспилотный
робототехнический
комплекс разграждения

Беспилотный робототехнический комплекс разграждения Robotic Complex Breach Concept (RCBC) прошел испытания в учебном центре

Якима (Yakima), штат Вашингтон. Он создан на платформе боевого танка M1 «Абрамс» (M1 Abrams) и является усовершенствованной версией штурмовой машины M1150 Assault Breacher Vehicle.

С «Абрамса» сняли оружие и навесили на него минный плуг, бульдозерный отвал, заряды для удаления боеприпасов и взрывную систему разминирования. Комплекс оборудован системой дистанционного управления и навесным оборудованием. Он предназначен для проделывания прохода в минных полях и расчистки заграждений на поле боя, включая противотанковые.



Опыт использования этого комплекса сухопутными войсками и морской пехотой США почти наверняка послужит основой для разработки роботизированной наземной машины в будущем, особенно с учетом того, что одним

из требований к проектам новой боевой машины пехоты США, которая должна заменить M2 «Брэдли» (M2 Bradley), является способность работать без экипажа.

Popular Mechanics, May 8, 2019

«ДЕРЗКИЙ» ВПЕРВЫЕ ПОДНЯЛСЯ В ВОЗДУХ

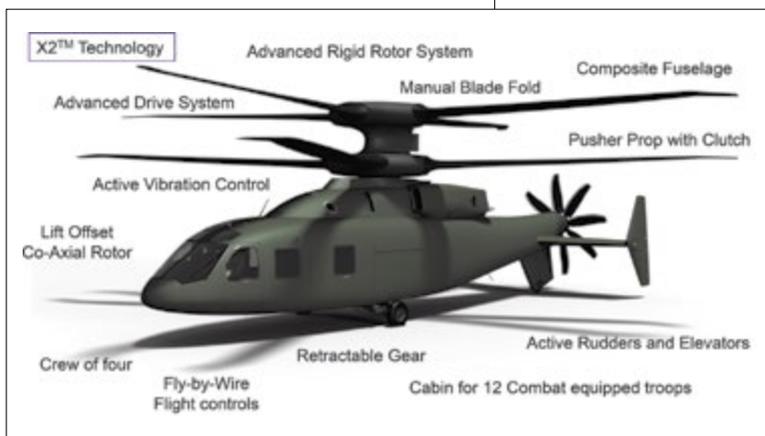
Вертолет Sikorsky-Boeing SB¹ Defiant™ («Дерзкий») 21 марта совершил первый полет на площадке Сикорского в Уэст-Палм-Бич, штат Флорида. Эта революционная машина, разработанная фирмами Sikorsky, Lockheed Martin и Boeing, дает представление о том, какими станут в США военные вертолеты следующего поколения в рамках программы Future Vertical Lift.

«Defiant изменят правила игры на поле боя, и мы с нетерпением стремимся продемонстрировать огромные возможности этой машины», – сказал Дэвид Куперсмит (David Koopersmith), вице-президент и генеральный менеджер Boeing Vertical Lift.

Два коаксиальных основных ротора и задний движитель толкателя Defiant существенно отличают его от серийных вертолетов. В нем достигнут скачок в технологиях для значительного увеличения скорости и дальности полета, улучшения маневренности, живучести и повышения экономической эффективности. Использование вертолетов Defiant с технологией X2™ и самолетов пятого поколения F-35 позволит Соединенным Штатам Америки вырваться из существующего стратегического противостояния.

«Defiant рассчитан на полеты со скоростью и дальностью вдвое большие, чем у обычных вертолетов, сохраняя при этом их самые лучшие показатели низкой скорости и зависания», – сказал Дэн Спур (Dan Spoor), вице-президент Sikorsky Future Vertical Lift. «Такая конструкция обеспечивает исключительные характеристики в целевой области, где потенциальная активность противника придает первостепенное значение маневренности, живучести и гибкости», – пояснил он.

Defiant помогут разработать требования к новым вертолетам общего назначения, которые, как ожидается, поступят на вооружение в



США в начале 2030-х годов. Этот полет Defiant знаменует собой ключевую веху для команды Sikorsky-Boeing и является кульминацией проектирования, моделирования и испытаний для дальнейшей демонстрации возможностей технологии X2. Она масштабируется для различных военных задач, включая атакующие действия и штурмовку, а также транспортировку на большие расстояния. Defiant является третьим прототипом, созданным по технологии X2 менее чем за 10 лет.

Boeing, March 21, 2019

Вертолет
Sikorsky-Boeing Defiant

НОВЫЙ РАДАР ДЛЯ «ШЕРШНЕЙ»

Корпус морской пехоты США выбрал радиолокатор с активной фазированной антенной решеткой (АФАР) APG-79(v)4 компании «Рэйтеон» (Raytheon) для оснащения самолетов палубной авиации F/A-18E/F Super Hornet и F/A-18 Hornet. Поставки радаров начнутся в 2020 году и завершатся к 2022 году.

APG-79(v)4 представляет собой уменьшенную версию радара APG-79, интегрированного в Super Hornet ВМС США и Королевских военно-воздушных сил Австралии, а также в палубный самолет радиоэлектронной борьбы ВМС США Боинг

EA-18 «Гроулер» (Boeing EA-18 Growler). Наряду с улучшенными возможностями прицеливания, экипажи получают преимущество

в важнейших операциях по всему спектру, включая завоевание господства в воздухе, нанесение ударов по морским и наземным целям.

«При помощи радаров с АФАР экипажи потребителей склоняют чашу весов в свою пользу по сравнению со своими противниками», – сказал вице-президент компании Эрик Дитмарс (Eric Ditmars). «Теперь пилоты морской пехоты смогут определять, отслеживать и поражать больше целей на большем расстоянии, чем когда-либо прежде», – добавил он.

В результате проведенной работы улучшена надежность радара, сокращено время подготовки к полету и его обслуживания.

Raytheon Company, Jan. 15, 2019

Радиолокатор с АФАР
APG-79(v)4



ОБЗОР СОСТОЯНИЯ ЯДЕРНЫХ СИЛ США В 2019 ГОДУ

Ядерный арсенал США в 2018 году практически не изменился. США имеют примерно 3800 ядерных боеголовок, 1750 из которых развернуты больше чем на 800 стратегических носителях (примерно 1300 – на баллистических ракетах, 300 – на базах стратегических бомбардировщиков в США и 150 тактических бомб – на авиабазах в Европе). Оставшиеся примерно

2050 боеголовок – это так называемая «защита от технических или геополитических неожиданностей».

Еще 2385 устаревших ядерных боеприпасов выведены из боевого состава и подготовлены к утилизации в период до 2030 года. Они переданы Министерству энергетики США. Таким образом, у США всего примерно 6185 боеголо-

вок. Точная цифра в обзоре не указывается, так как в апреле 2019 года Министерство обороны засекретило эту информацию.

Ядерное оружие хранится примерно в 24 географических точках в 11 штатах США и в пяти европейских странах. Больше всего его в подземном комплексе хранения боеприпасов и технического обслуживания Киртланд (Kirtland Underground Munitions and Maintenance Storage Complex – KUMMSC), расположенном к югу от города Альбукерк (Albuquerque) в штате Нью-Мексико. Здесь находится примерно 2475 боеголовок, из которых, по оценочным данным, 1785 сняты с вооружения и ожидают отправки на утилизацию на завод по производству ядерного оружия «Пэнтекс» (Plant Pantex) в штате Техас.

Второй по величине комплекс хранения и технического обслуживания – Фонд стратегического оружия Тихого океана (Strategic Weapons Facility Pacific – SWFPAC). Он расположен в районе военно-морской базы Китсап (Kitsap) в северо-западной части штата Вашингтон. Здесь находится 1620 боеголовок.

Из пяти мест хранения ядерного оружия США в Европе авиабаза Инджирлик в Турции самая крупная. Здесь хранится около 50 авиабомб, или одна треть всех запасов в Европе.

США продолжают так называемую «Программу записи» (The program of record) – заменяют или модернизируют все системы доставки ядерного оружия. Она предусматривает создание нового класса атомных подводных лодок (SSBN), стратегического бомбардировщика, крылатой ракеты большой дальности воздушного базирования (LRSO), межконтинентальной баллистической ракеты (GBSD) и нового тактического истребителя-бомбардировщика ВВС (F-35A).

Наземные баллистические ракеты. Военно-воздушные силы США имеют 400 МБР Minuteman III. Организационно они входят в три крыла: 90-е ракетное крыло – на авиабазе FE Warren в Колорадо, Небраске и Вайоминге, 91-е – на авиабазе Майнот в Северной Дакоте и 341-е – на базе ВВС Мальмстрем в Монтане. Каждое крыло состоит из трех эскадрилий по 50 ракет

Minuteman III в каждой. Они контролируются пятью центрами управления пуском.

МБР Minuteman III оснащены одной 300-килотонной боеголовкой W87/Mk21 или одной 335-килотонной W78/Mk12A. МБР с боеголовкой W78/Mk12A могут быть перезаряжены тремя независимо нацеливаемыми боеголовками (всего 800 боеголовок). В 2015 году была завершена программа модернизации и продления срока службы Minuteman III до 2030 года.

В августе 2017 года ВВС заключили контракты с Boeing и Northrop Grumman на сумму 678 млн долл. США о проведении исследований по созданию МБР следующего поколения, которая в настоящее время известна как наземный стратегический сдерживающий фактор (Ground-Based Strategic Deterrent – GBSD). По дальности полета она превзойдет Minuteman III. Планируется, что новая ракета начнет заменять Minuteman III с 2029 или 2030 года. ВВС намерены закупить 666 таких ракет, 400 из которых будут развернуты, а оставшаяся часть использована для испытательных пусков и в качестве запасных частей.

Военно-морские силы в своем составе имеют 14 атомных подводных лодок (ПЛА) с баллистическими ракетами (БРПЛ) класса «Огайо». Восемь из них приписаны к военно-морской базе Китсап на Тихоокеанском побережье, а шесть базируются на Кингс-Бей, штат Джорджия, на Атлантическом побережье США. Четыре или пять ПЛА систематически находятся на боевом патрулировании.

В настоящее время промышленность освоила выпуск модернизированной боеголовки W76-2 БРПЛ. В ней используется только первичное деление расщепляющегося материала для получения выхода в 5–7 килотонн. Первая боеголовка W76-2 выпущена на заводе Pantex 22 февраля 2019 года. Полный комплект планируется передать флоту к концу 2019 финансового года

Полным ходом идет проектирование ПЛА класса «Колумбия» (Columbia, SSBN-826) нового поколения. Она будет иметь водоизмещение на 2000 тонн больше, чем ПЛА класса «Огайо» и оснащена 16 БРПЛ.

Военно-воздушные силы имеют парк из 20 бомбардировщиков В-2А (все являются носителями ядерного оружия) и 87 бомбардировщиков В-52Н (46 – носители ядерного оружия). По данным на февраль 2018 года, в ВВС США были развернуты 13 бомбардировщиков В-2А Spirit и 36 В-52Н.

Бомбардировщики сведены в девять эскадронов в пяти авиакрыльях на трех военно-воздушных базах: Майнот (Minot) в Северной Дакоте, Барксдейл (Barksdale) в Луизиане и Уайтмен (Whiteman) в Миссури.

Каждый В-2 может нести до 16 ядерных бомб (гравитационные бомбы В61-7, В61-11 и В83-1), а В-52Н – до 20 крылатых ракет (AGM-86В). По оценкам экспертов, 850 ядерных боезарядов, включая 528 крылатых ракет воздушного базирования, предназначены для бомбардировщиков. На авиабазах находится предположительно около 300 единиц оружия, а оставшиеся 550 – в комплексе обслуживания и хранения подземных боеприпасов в Киртланде.

США модернизируют стратегические бомбардировщики и ядерное оружие для них: бомбы В61-12 и противокорабельные ракеты большой дальности (Long Range Anti-Ship Missile – LRSM). В настоящее время начато проектирование нового перспективного дальнего тяжелого бомбардировщика В-21 Raider, а также разработка новой крылатой ракеты большой дальности. Она заменит AGM-86В в 2030 году и будет оснащена боеголовкой W80-4. В-21 будет нести В61-12 и LRSM, а также неядерное оружие, включая JASSM-ER. Проектирование этого самолета выполняет компания Northrop Grumman.

Предполагается заказать 175 таких самолетов. Они начнут поступать в ВВС США с середины 2020-х годов, чтобы заменить В-1В и В-2. В-21 Raider разместят на авиабазах Дайс (Dyess) в штате Техас, Элсворт (Ellsworth) в штате Южная Дакота и Уайтмен (Whiteman) в штате Миссури.

Bulletin of the Atomic Scientists 2019, Vol. 75, No. 3, 122–134, 29 Apr 2019

Реклама Ground-Based Strategic Deterrent на сайте корпорации Boeing

GROUND BASED STRATEGIC DETERRENT

- LIFE CYCLE ADAPTABILITY**
Boeing engineers flexibility into modular ICBM systems, putting all the pieces together to field an adaptable ICBM force that stands the tests of time.
- SAFE AND SECURE**
Designing and testing reliable ICBM systems with nuclear surety and cybersecurity as our foremost priorities.
- INTELLIGENT COMMONALITY**
Leveraging mature technologies to lower costs and reduce schedule risks, relying on a highly-skilled team that knows ICBM systems better than anyone.
- AFFORDABLE**
Balancing performance, risk and cost.
- RESPONSIVE**
Boeing designs and delivers ICBM systems that the nation relies on 24/7 for nuclear stability.
- AMERICA'S TEAM**
Working side by side with the U.S. Air Force since 1958 to ensure ICBM readiness. Committed to deploying and sustaining future ICBMs to deter modern threats.
- MISSION READY**
Boeing is ready to provide a Ground Based Strategic Deterrent that will meet the U.S. Air Force's mission requirements without fail.

Copyright © 2016 Boeing. All rights reserved. 002532

НА НОВОЙ ВЫСОТЕ



МАКС 2019

Организаторы



Устроитель



ЖУКОВСКИЙ • 27 АВГУСТА - 1 СЕНТЯБРЯ

Стратегический банк-партнёр



Стратегический партнёр



Генеральный финансовый партнёр



Официальный партнёр



Банк-партнёр



Международный
информационный партнёр



Генеральные информационные партнёры



360°



Акционерное общество «Концерн Радиоэлектронные технологии» (КРЭТ) — новый участник мирового рынка радиоэлектронных решений для государства и бизнеса с большим технологическим будущим и утвержденной стратегией долгосрочного развития. Концерн предлагает современные радиоэлектронные средства и комплексы, созданные на основе инновационных российских технологий для космоса, авиации, флота и сухопутных сил. Широкая линейка гражданских продуктов представляет КРЭТ в медицине, энергетике, транспорте и других сферах. Устойчивый рост и хорошие финансовые показатели укрепляют приверженность Концерна миссии по обеспечению глобальной безопасности в опоре на лучшие традиции российской школы радиоэлектроники. КРЭТ создан в 2009 году.