

## КВАНТОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОЕННОГО ПРИМЕНЕНИЯ ЗА РУБЕЖОМ

*Д.Б. Изюмов*, нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *izyumov@extech.ru*

*В.И. Карпенко*, глав. аналитик отд. ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *cspp@extech.ru*

*Е.Л. Кондратюк*, зам. нач. отдела ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ, *kel@extech.ru*

Рецензент: А.Ю. Потюпкин, АО «Российские космические системы», д-р техн. наук, *fotin853@mail.ru*

*В статье рассмотрены планы применения квантовых технологий в системах вооружения зарубежных стран, проанализированы проблемы, связанные с реализацией данных замыслов, также представлены достоинства квантового в сравнении с традиционными системами вооружения.*

**Ключевые слова:** квантовые технологии, вооружение, военная и специальная техника, квантовые радиолокационные станции, квантовые системы радиоэлектронной борьбы, основные направления развития, перспективные исследования.

## QUANTUM TECHNOLOGIES FOR MILITARY APPLICATIONS ABROAD

*D.B. Izumov*, Head of Department, SRI FRCEC, *izyumov@extech.ru*

*V.I. Karpenko*, Chief Analyst, SRI FRCEC, *cspp@extech.ru*

*E.L. Kondratyuk*, Deputy Head of Department, SRI FRCEC, *kel@extech.ru*

*The article discusses the plans for the use of quantum technologies in weapons systems of foreign countries, analyzes the problems associated with the implementation of these plans, and also presents the advantages of quantum in comparison with traditional weapons systems.*

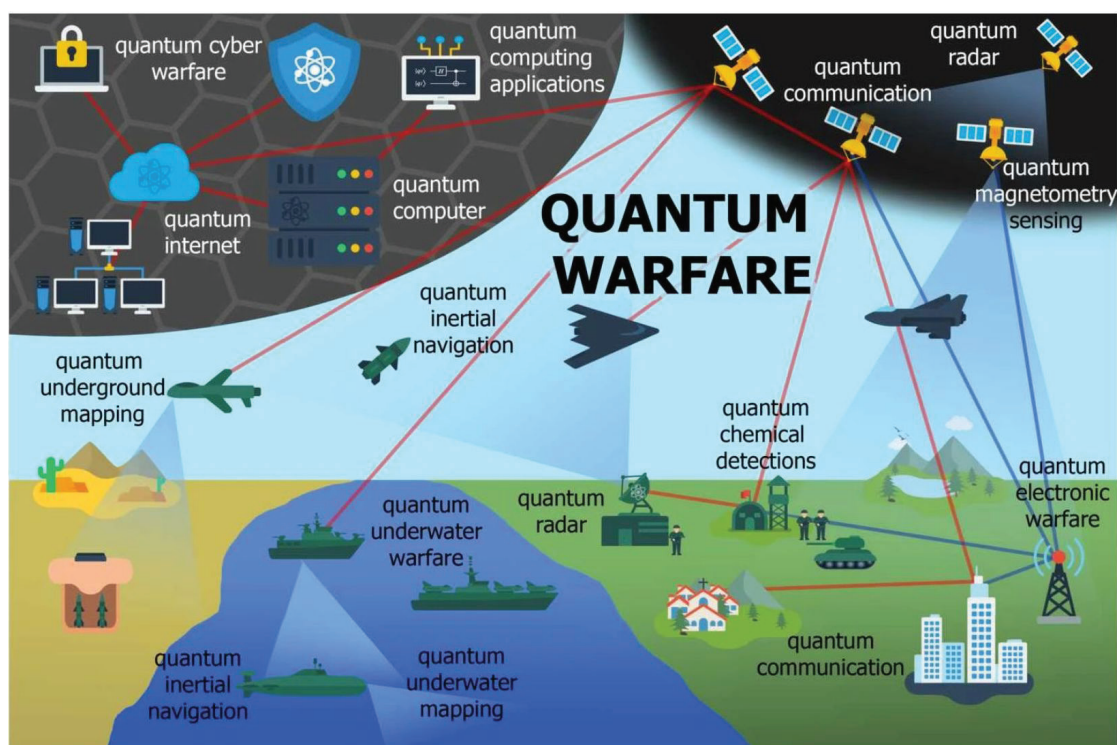
**Keywords:** quantum technologies, armament, military and special equipment, quantum radar stations, quantum electronic warfare systems, main directions of development, promising research.

Квантовые технологии могут существенно повлиять на многие области человеческой деятельности. Особенно это касается оборонного сектора. Квантовые технологии потенциально способны оказать существенное влияние на все виды современных вооруженных конфликтов. Вторая квантовая революция позволит улучшить чувствительность и эффективность различных датчиков и сенсоров, а также обеспечит появление новых возможностей и современных методов ведения боевых действий без создания новых видов вооружения.

На рисунке представлены возможные варианты применения квантовых технологий в образцах вооружения, военной и специальной техники (ВВСТ), системах обеспечения безопасности, а также в космических и системах разведки, реализация которых, по мнению военно-политического руководства США, позволит повысить обороноспособность государства.

### **Варианты применения квантовых технологий в вооруженном противоборстве**

Важно отметить, что сейчас многие разработки находятся на стадии теоретических исследований, и только малое количество доведено до опытных образцов. Так, достижение определенных результатов в лабораторных условиях не всегда соответствует аналогичному прогрессу за ее пределами. Практическое использование системы предусматривает целый перечень аспектов, таких как подвижность, чувствительность, разрешение, скорость, надежность, размер, масса, мощность и стоимость, что и отличает ее от лабораторного прототипа.



### **Квантовые технологии в системах сбора информации, наблюдения, разведки и обнаружения целей**

Системы сбора информации, наблюдения, разведки и обнаружения целей (Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance – ISTAR) – важнейшая часть современных вооруженных сил (ВС) ведущих зарубежных стран. По мнению зарубежных экспертов, в будущем стоит ожидать ошутимого роста влияния квантовых технологий на получение разведывательных данных, обработку больших объемов информации, системы наблюдения, разведки, идентификации целей и др. [1].

Помимо вычислительных возможностей системы ISTAR, значительного прогресса при внедрении квантовых технологий можно ожидать от систем зондирования, размещенных на образцах сухопутной, морской, авиационной техники и на низкоорбитальных спутниках.

Другим важным вариантом зондирования является квантовая магнитометрия. Варианты применения квантовой магнитометрии частично пересекаются с вариантами использования квантовой гравиметрии, что приводит к появлению новых возможностей: сканирования магнитного поля Земли, включая магнитные аномалии, сканирования локальных магнитных аномалий, возникающих из-за присутствия металлических объектов (подводные лодки, мины и т. д.) [2].

Помимо перечисленных выше, квантовая визуализация предлагает множество разнообразных вариантов ее применения, например: квантовые радиолокационные станции (РЛС), 3D-камеры, Stealth-дальномеры и т. д.

### **Квантовые технологии в системах наблюдения за поверхностью Земли**

Квантовое зондирование, основанное на магнитометрии, гравиметрии и гравитационной градиентометрии в гражданской сфере, помогает в изучении континентов и морского дна, а также подземных изменений естественного происхождения. Как сканирование магнитных аномалий, так и гравитационное зондирование показывают различную картину поверхности Земли. Поверхность Земли очень неоднородна (океаны, скалы, пещеры, залежи полезных

ископаемых и т. д.) и включает массивные сооружения или транспортные средства, созданные человеком, которые формируют уникальный гравитационный (в зависимости от массы) и магнитный (в зависимости от состава) след.

Технологии квантового зондирования – магнитометрия, гравиметрия и гравитационная градиентометрия – могут достигать очень высокой точности. Например, точность абсолютной гравиметрии вне лаборатории составляет около 1 мкГал. Проблема заключается в пространственном разрешении, которое обычно не коррелируется с чувствительностью (более высокая чувствительность достигается за счет более низкого пространственного разрешения и наоборот).

Пространственное разрешение и чувствительность являются критическими характеристиками, которые определяют, что будет распознаваться (крупномасштабные природные изменения или небольшие подземные сооружения) и с какого расстояния (с земли, с беспилотного летательного аппарата (БЛА) или со спутника). Примерами возможности пространственного разрешения в настоящее время являются: около 100 км для спутникового гравиметрического градиентометра; 16 км дополнительной ширины с использованием спутниковой радиолокационной альтиметрии (для морских районов) или 5 км для бортовой гравиметрии.

Как отмечают зарубежные специалисты, для многих способов использования квантового зондирования было бы предпочтительно разместить датчики спутников на низкой околоземной орбите (Low Earth Orbit – LEO), в том числе для мониторинга Земли (картирование ресурсов, таких как вода или нефть, обнаружение землетрясений или цунами) [3].

Помимо низкоорбитальных спутников, квантовые датчики предполагается размещать на авиационных, морских и сухопутных средствах. Так, квантовый гравиметр, размещенный на БЛА, эффективен для поиска антропогенных сооружений, например туннелей, используемых в контрабандных целях. Размещение устройств квантового зондирования на БЛА, безэкипажных надводных аппаратах (БНА), дистанционно управляемых машинах или безэкипажных подводных аппаратах (БПА) позволит повысить работоспособность последних, а также обеспечить их лучшую чувствительность и большее разрешение.

Квантовое зондирование с низким разрешением может использоваться для точной привязки к местности и топографического картирования, для улучшения подводной навигации или планирования операций на пересеченной местности. Кроме того, дополнительно возможно обнаружение новых месторождений полезных ископаемых и нефти, в том числе расположенных на морском дне.

Квантовое магнитное и гравитационное зондирование высокого разрешения, как отмечают зарубежные эксперты, способно эффективно обнаруживать замаскированные транспортные средства или авиационную технику, флот противника или отдельные корабли, подземные сооружения (пещеры, туннели, подземные бункеры и ракетные шахты), скрытые неразорвавшиеся объекты (мины, подводные мины и самодельные взрывные устройства и др.) [4].

Ясно, что вопросы использования квантовой гравиметрии и магнитометрии в реализации вышеупомянутых замыслов и на дальнейшую перспективу формируют широкое исследовательское поле. И так или иначе, но квантовые датчики будут разрабатываться и активно поставляться, улучшаясь от поколения к поколению, каждое из которых будет иметь улучшенные характеристики, включая меньшие массогабаритные параметры и стоимость, что обеспечит их более широкое развертывание и применение.

Квантовые гравиметры и гравитационные градиентометры позволят обеспечить в будущем высокую точность полученных данных, которая, в свою очередь, потенциально улучшит качество получаемых результатов в геофизике, сейсмологии и обнаружении нефти, подземном сканировании, топографии и картировании (например, высокая точность отображения рельефа морского дна для подводной навигации).

### **Квантовые системы визуализации**

Помимо квантовых РЛС и лидаров (LIDAR или LiDAR – Light Detection and Ranging – средства обнаружения и определения дальности с помощью светового потока), существуют и другие квантовые средства визуализации военного назначения. Так, за рубежом разрабатываются всепогодные, дневные и ночные тактические электронно-оптические, инфракрасные, терагерцевые радиочастотные датчики, дальнего и ближнего действия, активного и пассивного режима работы, скрытного применения. Системы квантовой визуализации могут использовать различные методы и квантовые протоколы или, например, технологию SPAD (Single Photon Avalanche Detectors) (лавинный детектор одиночных фотонов), квантовое фантомное изображение, квантовую подсветку и др. Согласно заявлениям специалистов создание систем квантовой визуализации небольших размеров не является проблемой. Критическими параметрами являются поток однофотонного и запутанного фотонного излучателя или разрешение и чувствительность однофотонного обнаружения. Более того, крупномасштабное развертывание системы квантовой визуализации с высоким потоком фотонов потребует больших объемов энергии, что может ограничить возможность ее использования.

Квантовые 3D-камеры, использующие квантовую запутанность и корреляции между числом фотонов, обеспечивают быструю передачу 3D-изображения с беспрецедентной кратностью фокусировки и низким уровнем шума при съемке на больших расстояниях. Данное решение может быть использовано для обнаружения трещин и повреждений на корпусах самолетов, спутников и военной техники. Также квантовые 3D-камеры, предоставляющие изображения с больших расстояний, могут использоваться для ведения разведки, наблюдения за военными объектами и техникой противника.

Еще одной доступной к настоящему времени технологией являются квантовые газовые датчики. Технически они представляют собой однофотонные квантовые лидары, откалиброванные для обнаружения утечки метана. Современные модифицированные опытные образцы данного типа датчиков способны обнаружить наличие нескольких видов газов, а также углекислого газа ( $\text{CO}_2$ ), который при определенной настройке может использоваться и для обнаружения присутствия человека. Также специфической особенностью данных датчиков является возможность наблюдения и обнаружения за объектом вне зоны прямой видимости на малых расстояниях [5].

Квантовая визуализация может использоваться для наблюдения при слабом освещении или низком отношении «сигнал – шум», например в таких средах, как облака, туман, пыль, дым или в ночное время, что дает значительное преимущество при ведении разведки или наблюдения. Особенно эффективна квантовая визуализация с низким отношением «сигнал – шум» в обнаружении и идентификации целей с собственным низким отношением «сигнал – шум» или stealth-сигнатурами, замаскированных объектов противника. Также она будет полезна пилотам вертолетов при посадке в пыльной, туманной или задымленной местности.

Следующим потенциально важным устройством в будущем станет квантовый дальномер. Традиционные дальномеры используют лазерный луч, который легко обнаруживается системами предупреждения о лазерном облучении. Применение же квантового дальномера невозможно зафиксировать оптико-электронными устройствами на фоне окружающей среды в дневное и ночное время, что делает его невидимым и незаметным, тогда как традиционные дальномеры могут быть обнаружены противником.

В тех случаях, когда цель неподвижна или движется очень медленно, квантовая stealth-визуализация может играть роль квантового лидара, в то время как для 3D-визуализации требуется бесконечная глубина фокусировки.

### **Квантовые средства радиоэлектронной борьбы**

Квантовые средства радиоэлектронной борьбы (РЭБ) можно разделить на классические РЭБ с квантовым усилением и собственно квантовые РЭБ, ориентированные на противодействие квантовым каналам. Под квантовым каналом понимается любая передача

фотонов, несущих квантовую информацию (квантовый интернет, квантовая РЛС или другая квантовая система, которая использует канал свободного пространства или оптоволокна).

Так, предполагается, что традиционные системы РЭБ с квантовым усилением будут оснащаться квантовой антенной. Квантовая антенна на основе ридберговских атомов будет иметь меньшие размеры, которые не зависят от длины волны (частоты) измеряемого сигнала. Это означает, что даже для перехвата низкочастотного (от МГц до кГц) сигнала достаточно нескольких микрометров квантовой антенны. Также могут быть использованы множество (массив) квантовых антенн для многочастотных измерений, для разных полос пропускания или одна антенна, динамически изменяющая полосу пропускания в соответствии с задачами. Более того, антенны на основе атомов Ридберга могут измерять как АМ- (амплитудная модуляция), так и FM- (частотная модуляция) сигналы, осуществлять самокалибровку, измерять как слабые, так и очень сильные поля и определять их угол приема. В будущем квантовые антенны могли бы выглядеть как матрица ридберговских атомных ячеек. Так, разные ячейки могут измерять разные сигналы, а при совместном применении двух или более ячеек может быть определен угол поступления сигнала. Самым слабым местом таких антенн является криогеника, необходимая для охлаждения ридберговских атомов.

В целом квантовые радиочастотные датчики являются ключевым фактором для разработки передовых систем с низкой вероятностью перехвата и низкой вероятностью обнаружения, постановки помех связи, устойчивости к радиочастотным помехам, радиопеленгации или радиочастотной ТГц-визуализации. Так, американские специалисты заявляют, что они могут быть использованы при модернизации истребителя F-35 военно-воздушных сил США, для которого разрабатывается квантовый радиочастотный датчик [6].

Традиционная система РЭБ также может быть усовершенствована за счет использования квантовых технологий при помощи улучшенных анализаторов радиочастотного спектра, где могут быть применены квантовые оптимизации и квантовые методы машинного обучения и искусственного интеллекта. Более высокая эффективность может быть достигнута путем обработки и анализа непосредственно квантовых данных с радиочастотных квантовых датчиков (атомы Ридберга, NV-центры), где влияние квантового компьютера может быть более значительным. Кроме того, разрабатываются другие решения и подходы, основанные на квантах, такие как анализ радиочастотного спектра на основе NV-центра (Nitrogen-Vacancy Center – азотозамещенная вакансия в алмазе) или анализатора спектра на основе выжигания спектральных каналов (Spectral Hole Burning – SHB) [7].

Современные системы РЭБ также могут получить новые возможности благодаря квантовой синхронизации. Квантовая синхронизация способна улучшить такие процессы, как разведка сигналов, противодействие цифровой радиочастотной памяти (Digital Radio Frequency Memory – DRFM) (электронный метод цифрового захвата и ретрансляции радиочастотных сигналов) и другие задачи, стоящие перед системами радиоэлектронной борьбы и требующие точной синхронизации (например, подавление РЛС противника).

Следующей областью квантовой РЭБ являются разведка сигналов (Signals Intelligence – SIGINT) и разведка средств связи (Communications Intelligence – COMINT), предполагающие обнаружение, перехват, идентификацию, определение местоположения, и квантовая электронная атака, предусматривающая создание помех, дезинформацию и использование оружия направленной энергии. Квантовые каналы (для квантовой связи или квантовой визуализации) имеют специфические характеристики. Во-первых, простой перехват сигнала проблематичен, так как квантовые данные передаются отдельными квантами, и их перехват может быть легко обнаружен. Во-вторых, технологии квантовой визуализации используют низкое отношение «сигнал – шум», что означает, что распознать сигнал и шум без дополнительных систем достаточно сложно. В-третьих, когерентные фотоны, обычно используемые в качестве сигнала, ведут себя как сфокусированный лазерный луч. Найти такой

квантовый сигнал, не зная положения хотя бы одной стороны, очень сложно. Эти характеристики делают классическую систему РЭБ устаревшей и «слепой» по сравнению с квантовой.

Данная ситуация является сложной даже для потенциальных квантовых систем радиоэлектронной борьбы, поскольку остается открытым вопрос о том, удастся ли обнаружить присутствие квантового (свободного пространства) канала. Это потребует разработки квантовой аналогии приемников лазерного предупреждения. В результате для квантовой РЭБ будет критически важно получить информацию о позиции одной или обеих сторон, использующих квантовый канал.

Очевидно, что традиционная система РЭБ осуществляет противодействие таким же традиционным каналам связи. Однако ее эффективное применение невозможно в отношении квантового канала. Другие типы атак рассматриваются на уровне квантовой физики; например, атака с разделением числа фотонов основана на использовании когерентных лазерных импульсов для квантового канала, или атак с использованием систем, действующих по принципу троянского коня, или обнаружения рассеянного света. Однако эти типы атак очень сложны, и их практическая применимость, например, в космосе весьма сомнительна [8].

Более вероятно, что квантовая атака РЭБ будет просто типом отказа, когда квантовый канал перехватывается, что приводит к прекращению его работы. Другой возможностью является сложное подавление приемников с одной или обеих сторон, что приводит к появлению значительного шума. В случае же, когда местоположение приемника или передатчика известно, другой контрмерой является использование оружия направленной энергии, например лазера, что приводит к повреждению или разрушению датчиков или сенсоров.

Таким образом, для реализации возможности квантовой радиоэлектронной борьбы и удовлетворения потребностей в них ВС зарубежных стран их специалистам необходимо будет разработать новые подходы и методы ее практического применения.

#### **Квантовые радиолокационные станции и лидары**

На реализацию проектов квантовых РЛС в США и их стратегических партнеров особое влияние оказывается со стороны средств массовой информации и некоторых представителей военно-политического руководства, заявляющих о проведении активных разработок квантовых РЛС в Китае, что непосредственно связано с их достоинствами:

- повышенная помехоустойчивость, т.е. лучшее отношение «сигнал – шум», а также устойчивость к средствам противодействия РЭБ;
- мощность выходного сигнала настолько мала, что система будет «невидимой» для традиционных средств радиоэлектронной борьбы противника;
- возможность идентификации цели.

В связи с этим данному направлению уделяется повышенное внимание за рубежом, так как данные возможности позволят изменить методы и существенно повысить эффективность ведения боевых действий, несмотря на незрелость технологии и многочисленные сомнения экспертов в том, могут ли квантовые РЛС работать в качестве стандартной основной системы слежения и наблюдения или нет.

Более того, по заявлению зарубежных специалистов, на современном этапе развития технологии маловероятно, что квантовые РЛС будут иметь дальность обнаружения в сотни километров.

Также необходимо учитывать, что подобная квантовая РЛС длительного наблюдения будет чрезвычайно дорогой (на много порядков дороже, чем традиционная РЛС), и ее применение не исключает полностью использование традиционных станций.

Научно-технические проблемы реализации данного направления заключаются в следующем. Квантовые РЛС также подчиняются зависимости, характерной для традиционных станций, в которых полученная мощность теряется с четвертой степенью расстояния. Также, чтобы сохранить все преимущества использования квантовых технологий, желательно иметь

один или меньше фотонов на режим. Таким образом, необходимо генерировать относительно высокую мощность, создаваемую низкофотонными модами в микроволновом режиме. Для этого потребуется большое количество генераторов квантовых сигналов, криогенных устройств, антенн больших размеров и т. д. Это приводит к чрезвычайно высокой стоимости и непрактичным конструкторским решениям. Так, на данном этапе развития технологий зарубежным исследователям необходимо будет разработать более практичную квантовую микроволновую технологию.

Помимо высокой стоимости, у многих специалистов за рубежом сохраняется скептическое отношение к возможностям обнаружения скрытых целей и помехоустойчивости. Использование квантовых РЛС может быть целесообразно против станций активных заградительных помех и вовсе не обязательно – против устройств цифровой радиочастотной памяти (Digital Radio Frequency Memory – DRFM) или других передатчиков помех с автоматическим анализом сигналов и перестройкой частот. Можно предположить, что квантовые РЛС дальнего наблюдения вряд ли будут созданы даже в долгосрочной перспективе. Для реализации этого потребуется разработать новую технологию, позволяющую использовать криогенные системы меньшего размера, радиочастотные квантовые излучатели, работающие при более высоких температурах, или использовать более эффективные системы охлаждения и более мощные излучатели (с высокой частотой низкофотонных импульсов). Также необходимо обратить внимание на то, что, даже если бы были разработаны сверхпроводящие материалы, это не помогло бы при использовании джозефсоновского параметрического усилителя (Josephson Parametric Amplifier – JPA) генерации запутанных микроволновых фотонов. Однако JPA – не единственный метод получения запутанных микроволновых фотонов. Не исключено, что в будущем за рубежом будут проведены новые исследования и разработаны другие конструкции квантовых РЛС. Также на данном этапе развития технологий квантовая РЛС дальнего наблюдения, описанная выше, будет иметь большие массогабаритные характеристики, значительное энергопотребление, в результате чего становится сомнительным тот факт, что она будет скрытной.

Другой проблемой является дальность действия в случае использования протокола квантовой подсветки (Quantum Illumination – QI). Протокол QI требует наличия информации о цели, а именно: некоторых данных об источнике для определения дальности [9].

В течение нескольких лет считалось, что квантовая эффективная поверхность рассеяния (ЭПР) радиолокационных волн (Radar Cross Section – RCS) выше, чем ЭПР традиционных РЛС. Новые исследования рассеяния радиолокационных волн показывают, что ранее заявленное преимущество квантовых над традиционными является результатом ошибочного приближения, и они на данный момент считаются равными.

Другим подходом может быть создание РЛС с квантовым усилением шума. Такая РЛС использует форму волны шума в качестве сигнала передачи, а обнаружение основано на корреляции между переданным сигналом и полученной формой волны шума, возвращаемой РЛС. Преимущество данного подхода – низкая вероятность перехвата (Low Probability of Interception – LPI), который практически не обнаруживается современными средствами. Однако технологии РЛС с квантовым шумом нуждаются в дополнительном изучении, чтобы можно было оценить их практическую применимость.

Тем не менее результаты теоретических исследований и практических разработок находят применение в области создания РЛС, особенно в той части, где используются оптические или околооптические фотоны, т. е. в так называемых квантовых лидарах. Как заявляют зарубежные разработчики, квантовый лидар ближнего действия можно было бы использовать для подсветки цели на малых расстояниях. Эксперименты с однофотонной визуализацией были продемонстрированы на расстоянии от 10 до 45 км. В этом диапазоне квантовый лидар может работать как РЛС противодействия БЛА или как часть комплекса ПВО ближнего действия (Short Range Air Defense – SHORAD) [10].

В дополнение: за рубежом также разрабатывается РЛС с квантовым усилением. Чтобы традиционная РЛС стала радиолокационной станцией с квантовым усилением, она должна быть оснащена атомными или квантовыми часами. Такие РЛС с квантовым усилением показывают высокую точность и низкий уровень шума и, таким образом, обладают достаточными преимуществами при обнаружении небольших и медленно движущихся объектов, например БЛА.

### **Квантовые технологии в подводной среде**

По мнению зарубежных экспертов, квантовые технологии могут оказать существенное влияние на ведение боевых действий в подводной среде благодаря улучшенному магнитному обнаружению подводных лодок (ПЛ) или подводных мин, которые используют новые инерциальные системы навигации и усовершенствованные гидролокаторы. В целом в подводной среде может применяться зондирование на основе квантовых фотодетекторов, РЛС, лидаров, магнитометров или гравиметров.

Подводные лодки и другие подводные аппараты благодаря применению квантовой инерциальной навигации могут получить следующие преимущества. Подводные лодки больших размеров, вероятнее всего, станут одними из первых, где будет использоваться квантовая инерциальная навигация из-за их габаритов, которые позволят разместить и системы криогенного охлаждения. Чувствительные квантовые магнитометры и гравиметры позволят составить карты подводного дна без использования гидролокатора, который может быть легко обнаружен противником. Пример другого типа инерциальной навигации, который основан на квантовой визуализации, особенно подходит для подводной навигации в Арктике.

Также, как заявляют зарубежные специалисты, основным средством противолодочной борьбы может стать квантовый магнитометр. Исследователи ожидают, что сверхпроводящие квантовые магнитометры, в частности, способны обнаруживать ПЛ на расстоянии до 6 км. Обращает на себя внимание тот факт, что современные традиционные детекторы магнитных аномалий, обычно устанавливаемые на авиационной технике, имеют дальность действия всего в сотни метров. Массив квантовых магнитометров, установленных, например, по побережью, сможет охватывать значительные районы, что приведет к возможности обнаружения подводных лодок. Квантовые магнитометры также могут быть использованы для обнаружения подводных мин, например с помощью БПА.

Однако основные дискуссии касаются дальности обнаружения, чувствительности и т. д. Также зарубежные исследователи отмечают, что квантовые технологии окажут незначительное влияние на возможности атомных подводных лодок с баллистическими ракетами. Также вероятно, что квантовые магнитометры могли бы функционировать совместно с другими датчиками, обеспечивая дополнительную поддержку в обнаружении, идентификации и классификации целей [11].

### **Квантовые технологии в космическом пространстве**

Ранее космическое пространство было в основном местом для спутников навигации, картографирования, связи и наблюдения, используемых, в том числе, в военных целях. В настоящее время космос становится все более вооруженным. Так, спутники с лазерным оружием, или «спутники-убийцы», выводятся на околоземную орбиту, вместе с чем параллельно возрастает роль противодействия им. Другой проблемой является увеличение количества космического мусора, помимо нынешнего количества спутников, оцениваемого в 2200 ед.

Таким образом, космос будет иметь ключевое значение для использования технологий квантового зондирования и связи, а также для противоборства в космическом пространстве.

Для многих вариантов применения квантовых технологий, описанных ранее, было бы желательно использование методов квантового зондирования в таких приборах, как квантовый гравиметр, гравитационный градиентометр или магнитометр на спутниках на околоземной орбите, и особенно на низкой околоземной орбите. Такие варианты применения



за рубежом сейчас находятся в стадии разработки – например, маломощное устройство квантового гравитационного зондирования, которое может быть развернуто в космосе на борту небольшого спутника для точного картографирования или для помощи в оценке воздействия стихийных бедствий. Однако такое применение не требует слишком высокого разрешения, в отличие от систем военного назначения. То же самое относится к квантовой визуализации на основе систем, предполагаемых к установке на спутниках. Например, Китай заявил о разработке спутника-шпиона, который использует технологию получения фантомных изображений. Однако какое пространственное разрешение он имеет на самом деле – неизвестно. Тем не менее квантовая визуализация будет иметь достаточные преимущества благодаря тому, что ее можно будет использовать в облачную, туманную погоду или ночью.

Новым необходимым вариантом использования квантовых технологий в военных целях станет технология обнаружения других спутников, космических объектов, космического мусора и слежения за ними. Для этой цели сейчас используются традиционные РЛС, например проект Space Fence, созданный в рамках программы создания сети станций наблюдения за космическим пространством США (US Space Surveillance Network). Но у большинства этих РЛС космического наблюдения возникают проблемы с обнаружением объектов размером около 10 см и меньше (в случае Space Fence минимальный размер составляет около 5 см). И еще одна проблема заключается в количестве отслеживаемых объектов, что касается в большей степени космического мусора, размер которого составляет всего несколько сантиметров. Так, за рубежом вместо традиционной РЛС в качестве альтернативы рассматриваются квантовая РЛС или лидар. Специально для космического пространства рассматривается квантовая РЛС, работающая в оптическом режиме, поскольку оптические фотоны не страдают от таких потерь, как в атмосфере. Космическая квантовая РЛС может обеспечить большинство достоинств, присущее квантовым РЛС, описанным выше, включая скрытность. Квантовая РЛС в космосе может обеспечить по крайней мере на порядок более высокую чувствительность обнаружения и чувствительность слежения за объектами по сравнению с электронно-оптической системой дальнего космического наблюдения наземного базирования (Ground-based Electro-Optical Deep Space Surveillance – GEODSS). Космическая квантовая РЛС была бы очень полезна для слежения за небольшими, темными и скоростными объектами, такими как спутники, космический мусор или метеориты [12].

Например, компания Raytheon в настоящее время осуществляет работы по моделированию применения квантовой РЛС в оптическом режиме в космическом пространстве. Суть исследований заключается в том, чтобы разместить квантовую РЛС на спутнике в целях обнаружения малых спутников противника, что сейчас является сложной задачей из-за их малой площади поперечного сечения, низкой отражательной способности и плохой освещенности окружающей среды. Развертывание квантовой РЛС или лидара в космическом пространстве может обеспечить почти все положительные эффекты, перечисленные выше.

Как отмечают зарубежные эксперты, растущее количество устройств квантового зондирования и связи в космосе приведет, в свою очередь, к росту средств космической квантовой РЭБ.

### **Проблемы применения квантовых технологий в оборонных целях**

Квантовые технологии в системах вооружения и военной техники имеют существенный потенциал улучшения их возможностей, таких как обеспечение более точной навигации, сверхзащищенной связи, обнаружения, вычислительных возможностей и др. В целом «квантовая война» потребует от зарубежного военно-политического руководства обновлений, изменений или создания новых военных доктрин, сценариев ведения боевых действий и планов разработки и приобретения новых образцов вооружения.

Согласно заявлениям зарубежных экспертов, активное развитие, реализация и внедрение квантовых технологий необходимы для того, чтобы избежать технологических сюрпризов со

стороны потенциальных противников. Как отмечают за рубежом, мониторинг иностранных разработок в области «квантового противоборства» необходим, даже если, на первый взгляд, квантовые технологии выходят за рамки финансовых, исследовательских или технологических возможностей других стран.

Например, для развития данной отрасли в США чрезвычайно важна модернизация Национальной торговой и экспортной политики. В свою очередь, Европейский союз объявил квантовые вычисления новой технологией глобального стратегического значения и рассматривает возможность более ограниченного доступа к исследовательской программе Horizon Europe. Кроме того, Китай запретил экспорт криптографических технологий, включая квантовую криптографию.

Еще одна тема – осторожное и обдуманное информирование стратегических партнеров о значительных квантовых достижениях, особенно в области возможностей квантовой ISTAR и квантовых кибертехнологий, которые могут раскрыть военные секреты, такие как расположение атомных подводных лодок или подземных сооружений, что потенциально может привести к дисбалансу сил.

Таким образом, квантовые технологии военного применения не только обеспечат улучшение и новые возможности существующих и разрабатываемых образцов ВВСТ, но также потребуют разработки новых стратегий, тактик, оценок угроз, стратегий безопасности и т. д. Все эти мероприятия в зарубежном понимании и охватываются термином «квантовая война».

Также можно констатировать тот факт, что на данном этапе развития техники и технологий интеграция квантовых технологий в системы вооружения является весьма сложной задачей. Помимо квантовых компьютеров, которые размещаются в центрах обработки данных, интеграция и развертывание систем квантового зондирования, визуализации или квантовых сетей столкнутся с рядом проблем, связанных с повышенными требованиями, предъявляемым к системам военного назначения. Например, требования, связанные с точностью позиционирования и навигации, требуют высоких скоростей измерений, которые могут быть весьма ограниченными у современных квантовых инерциальных датчиков.

Можно ожидать, что квантовые технологии будут иметь стратегические и долгосрочные последствия. Тем не менее пока что вероятность технологических сюрпризов, способных кардинально повлиять на вооруженные силы, довольно низка. Лучший способ избежать неожиданностей – это развивать знания о квантовых технологиях и следить за развитием и использованием квантовых технологий в других странах. Такое отношение к квантовым технологиям может сыграть роль «квантовой страховки».

*Статья выполнена при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках государственного задания 2023 г. № 075-01590-23-04.*

### **Список литературы (Reference)**

1. Wilson J. (2020) The future of artificial intelligence and quantum computing», Military & Aerospace Electronics. August 2020. URL: <https://www.militaryaerospace.com/computers/article/14182330/future-of-artificial-intelli-gence-and-quantum-computing> (date of access: 10.02.2023).

2. Buckley L. (2019) Overview of the Status of Quantum Science and Technology and Recommendations for the DoD. Institute for Defense Analyses Alexandria. URL: [https://www.academia.edu/71000506/Overview\\_of\\_the\\_Status\\_of\\_Quantum\\_Science\\_and\\_Technology\\_and\\_Recommendations\\_for\\_the\\_DoD](https://www.academia.edu/71000506/Overview_of_the_Status_of_Quantum_Science_and_Technology_and_Recommendations_for_the_DoD) (date of access: 10.02.2023).

3. Stray B. at all. (2022) Quantum sensing for gravity cartography. Nature. February 2022. Available at: <https://www.nature.com/articles/s41586-021-04315-3> (date of access: 10.02.2023).

4. Bidel Y. at all. (2018) Absolute marine gravimetry with matter-wave interferometry. Nature Communications. 2018, 9 (1). URL: <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03040-2> (date of access: 10.02.2023).

5. Gariepy G. at all. (2015) Single-photon sensitive light-in-flight imaging. *Nature Communications*. 6 (1). Available at: <https://doi.org/10.1038/ncomms7021> (date of access: 10.02.2023).
6. Cold Quanta. QRF – Technology Deep Dive, 2021. URL: <https://cdn.sanity.io/files/sbcw1clc/production/7bd897d88fc744d0ef0ae7725ceff5475699eb33.pdf> (date of access: 10.02.2023).
7. Baili G. at all. (2019) Quantum-based metrology for timing, navigation and RF spectrum analysis. European Defence Agency, 2019. URL: <https://doi.org/10.2836/848731> (date of access: 10.02.2023).
8. Lee M. Quantum hacking on a free-space quantum key distribution system without measuring quantum signals. URL: <https://doi.org/10.1364/josab.36.000b77> (date of access: 10.02.2023).
9. Daum F. (2020) Quantum radar cost and practical issues. *Aerospace and Electronic Systems Magazin*. 2020, 35 (11). URL: <https://doi.org/10.1109/maes.2020.2982755> (date of access: 10.02.2023).
10. Li Z.-P. at all. Single-photon computational 3D imaging at 45 km. URL: <https://doi.org/10.1364/prj.390091> (date of access: 10.02.2023).
11. Lanzagorta M. (2017) Quantum imaging for underwater Arctic navigation. *Radar sensor technology XXI*. 2017. Bellingham: SPIE. URL: <https://doi.org/10.1117/12.2262654> (date of access: 10.02.2023).
12. Chen Y.-A. at all. (2021) An integrated space-to-ground quantum communication network over 4600 kilometres. *Nature*. 2021, 589 (7841). URL: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03093-8> (date of access: 10.02.2023).