

Квантовые технологии военного назначения: понятия, видовое многообразие, реалии, регуляторика

И.В. Понкин

Аннотация – Статья посвящена исследованию и объяснению понятия и концепта квантовых технологий военного назначения. Автор отмечает, что концепт и основанные на нём важнейшие и перспективные инновационные квантовые технологии – имеют все основания и предпосылки стать прорывными (подрывными) технологиями в военной сфере. Хотя на сегодня это по большей части экспериментальные разработки, есть и уже вполне действующие серийные промышленные технические устройства, реализующие те или иные квантовые технологии. Такие уже работающие (применяемые) и перспективные квантовые технологии – это прорывные технологии с огромным потенциалом, в том числе и прежде всего – военным, меняющим мир и методы военной работы. Суть военного приложения квантовых технологий заключается в интеграции в основу военной техники таких явлений, как квантовая суперпозиция, квантовая запутанность, квантовое туннелирование и ряда других, для достижения возможностей, значительно превосходящих возможности классических для современности военных систем. В статье представлен базовый тезаурус тематического горизонта квантовых технологий. Автор представляет классификацию применимых, тестируемых и потенциально применимых в военной сфере реальных квантовых технологических решений: квантовое разведывательное зондирование и детекция объектов; квантовые системы детекции объектов прицеливания, обеспечения целеуказания и динамического корректирования прицеливания; квантовые системы формирования изображений и в целом квантовые системы визуализации военного назначения; квантовая инерциальная навигация и квантовое позиционирование военного назначения; квантовые и «постквантовые» системы связи и криптографии военного назначения; квантовая радиоэлектронная борьба; отказоустойчивые квантовые вычисления и гибридные вычисления. Показаны проблемы, тормозящие современное военное применение квантовых технологий, и перспективы их развития.

Ключевые слова — квантовые технологии, кубит, военное применение квантовых технологий, цифровые онтологии, искусственный интеллект, конкуренция технологических преимуществ, регуляторные технологии (RegTex).

I. ВВЕДЕНИЕ

Статья получена 1 марта 2025 г.

И.В. Понкин – Институт государственной службы и управления Российской академии народного хозяйства и гос. службы при Президенте РФ, кафедра государственного и муниципального управления, докт. юрид. наук, профессор (e-mail: ponkin-iv@ganepa.ru).

Никогда не считайте само собой разумеющимся, что ваши прошлые успехи сохранятся в будущем. На самом деле, ваши прошлые успехи – это ваше самое большое препятствие: каждая битва, каждая война – разные, и вы не можете рассчитывать, что то, что работало раньше, будет работать и сегодня. Вы должны оторваться от прошлого и открыть глаза на настоящее. Ваша склонность вести прошлую войну может привести к финальной вашей войне.

Роберт Грин [1, с. 8].

Научные открытия и технологическое развитие в конечном итоге открывают новые домены военного искусства и военного дела [2, с. 12]. Исторически военный сектор служил испытательным полигоном для различных новых технологий [3]. В постоянно развивающейся сфере современных войн новые и прорывные (см.: [4]) технологии играют жизненно важную роль в формировании военных стратегий [5].

Говорят, что мир вступает в Квантовую революцию 2.0, где используется спектр так называемых «странных» законов квантовой физики на пределе известной физики. Использование фундаментальных принципов квантовой физики может, в теории, привести к экспоненциальному ускорению вычислений, впечатляющему повышению чувствительности датчиков и беспрецедентно защищённой связи. В целом, эти области охватываются дисциплиной квантовой информатики [6, с. 39]. Считается, что квантовые вычисления направлены на использование контринтуитивного поведения субатомных частиц для создания компьютеров «ошеломляющей мощности» [7]. Квантовые технологии и создаваемые на их основе интегрированные квантовые экосистемы являются элементом стратегической конкуренции, обладание таковыми может и будет составлять и предоставлять значительные стратегические преимущества; последние достижения в области квантовых технологий приближают нас к глубоким изменениям в науке и технике, которые будут иметь далеко идущие последствия для экономики, безопасности и обороны [8].

Современные и перспективные квантовые технологии – это прорывные технологии с огромным потенциалом, в том числе и прежде всего – военным, меняющим мир и методы военной работы.

Россия, США [9; 10], Великобритания [11], Китай [12], Израиль [13; 14], Канада [15], Франция [16], Австралия [17], Япония [18–21], Южная Корея [22] – входят в число ведущих государств мира, инвестирующих значительные средства в

фундаментальные и прикладные разработки, тестирования и внедрение квантовых технологий военного и двойного назначения.

Действует Флагманская программа ЕС по квантовым технологиям [23]. НАТО считает квантовые технологии одними из важнейших новых и прорывных технологий [24]. На саммите НАТО 2021 года была запущена новая исследовательская программа под названием DIANA, призванная объединить промышленность, стартапы и академические круги для исследования новых технологий двойного назначения, которые решают как социальные проблемы, так и вопросы национальной безопасности. «Акселератор» оборонных инноваций для Северной Атлантики (DIANA) фокусируется, в числе прочего, на квантовых технологиях. Девять «акселераторов» предусмотрены в Португалии, Великобритании, Бельгии, Дании, Эстонии, Италии, Турции, Греции и Чехии. Большинство европейских членов НАТО будет обеспечивать у себя развёртывание и функционирование испытательных полигонов (таковых суммарно будет 47), за исключением Франции, Литвы и пяти балканских стран: Словении, Хорватии, Албании, Черногории и Северной Македонии [25]. Министерство обороны США заявляет, что появление квантовых вычислений и квантовых сенсоров (датчиков) «кардинально» изменит ситуацию в сфере обороны, причём «очень скоро» [26].

Дорожная карта по развитию в Российской Федерации сквозной цифровой технологии «квантовые технологии», как заявляется, разработана с целью получения в среднесрочной и долгосрочной перспективе практически значимых научно-технических и практических результатов мирового уровня по следующим субтехнологиям: квантовые вычисления, квантовые коммуникации и квантовые сенсоры. Параллельно с работой над дорожной картой ведётся работа по исследованию патентного ландшафта квантовых технологий [27]. В России в числе профильных для исследуемой темы документов действуют Постановление Правительства РФ от 30.11.2021 № 2133 (ред. от 26.12.2023) «О создании инновационного научно-технологического центра “Квантовая” долина”, Распоряжение Правительства РФ от 11.07.2023 № 1856-р «Об утверждении Концепции регулирования отрасли квантовых коммуникаций в Российской Федерации до 2030 года», Постановление Правительства РФ от 18.11.2020 № 1875 (ред. от 15.01.2022) «Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета на разработку прототипов квантовых процессоров в соответствии с мероприятиями дорожной карты “Квантовые вычисления”».

Всё это убедительно показывает высокую степень значения, придаваемого ведущими государствами мира квантовым технологиям военного и двойного назначения.

Как пишут Майкл Дж. Бьеркук и Ричард Фонтейн, по правде говоря, полный потенциал квантовых технологий неизвестен, будь то в сфере национальной безопасности или в любой другой сфере. Хотя основные заявления по этому вопросу иногда отражают скорее шумиху, чем реальность, неоспоримо, что правительства

и компании по всему миру вкладывают в развитие квантовых технологий очень значительные средства [28].

Этим вопросам и посвящена настоящая статья. Необходимо отсеять дефектные данные и необоснованно завышенные ожидания и на основе релевантных данных обобщить потенциально возможные направления и реальные возможности и тенденции в реализации и применении квантовых технологий военного назначения, рассматривая их с разных точек зрения.

II. БАЗОВЫЙ ТЕЗАУРУС ТЕМАТИЧЕСКОГО ГОРИЗОНТА КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Устоялись и активно используются следующие интерпретации основных понятий по данному тематическому горизонту.

Квантовый компьютер – компьютер, который использует такие коллективные свойства квантовых состояний, как суперпозиция, интерференция и запутанность, для выполнения вычислений (пункт 9 секции 3 Закона США от 21.12.2022 «О готовности к кибербезопасности квантовых вычислений» [29]).

Квантовое вычисление (англ. – «*quantum computing*») – представление и обработка данных с использованием квантовых явлений (пункт 6.5 ГОСТ Р 57257-2016 / ISO/TS 80004-12:2016. Национальный стандарт Российской Федерации «Нанотехнологии». Часть 12: «Квантовые явления. Термины и определения» от 10.11.2016).

Квантовая криптография (квантовое распределение ключей; англ. – «*quantum cryptography*», «*quantum key distribution*») – раздел криптографии, изучающий методы обеспечения конфиденциальности, целостности и аутентификации данных с использованием квантовых явлений (пункт 6.6 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовая информация (англ. – «*quantum information*») – данные, закодированные и переданные с использованием квантовых явлений (пункт 6.8 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовое сверхплотное кодирование (англ. – «*quantum superdense coding*») – способ преобразования двух битов классической информации в один кубит квантовой информации, благодаря явлению квантовой запутанности (пункт 6.9 ГОСТ Р 57257-2016).

Кубит (квантовый бит; англ. – «*qubit*», «*quantum bit*») – основная единица представления квантовой информации, реализуемая двумя состояниями квантовой системы, находящейся в одном из состояний или в суперпозиции обоих состояний (пункт 2.12 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовая суперпозиция (англ. – «*quantum superposition*») – линейная суперпозиция (или линейная комбинация) волновых функций. В квантовой механике принцип суперпозиции – один из основных постулатов, определяющий любую линейную суперпозицию (или линейную комбинацию) волновых функций как волновую функцию физической системы. Волновой функцией описывают состояние физической системы в любой момент времени (пункт 2.9 ГОСТ Р 57257-2016 и примечания к нему). Позволяет квантовым системам

существовать в нескольких состояниях одновременно, обеспечивая параллельную обработку данных в квантовых компьютерах или повышенную чувствительность датчиков.

Квантовая запутанность (англ. – «*quantum entanglement*») – квантовое явление, при котором квантовые состояния двух или более частиц являются взаимозависимыми. Квантовую запутанность описывают квантовым состоянием частиц в целом, а не квантовым состоянием отдельных частиц (пункт 2.6 ГОСТ Р 57257-2016 и примечание к нему). Квантовая запутанность связывает квантовые частицы таким образом, что состояние одной из них мгновенно влияет на состояние другой, независимо от расстояния. Под квантовой запутанностью понимается сильная корреляция между двумя или более кубитами (или двумя или более квантовыми системами в целом), не имеющая классического аналога [30, с. 4].

Волновая функция (англ. – «*wave function*») – математическая функция, используемая для полного описания состояния квантовой системы и содержащая всю информацию об измеряемых физических величинах системы (пункт 2.14 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовое туннелирование (англ. – «*quantum tunneling*») – преодоление частицей потенциального барьера в случае, когда её полная энергия меньше высоты барьера. Туннелирование – квантовое явление, не имеющее классического аналога. Классическая частица с энергией E не может находиться внутри потенциального барьера высотой V , если E меньше V , так как кинетическая энергия частицы становится при этом отрицательной. В соответствии с принципом квантовой неопределённости, существует вероятность преодоления любой элементарной частицей потенциального барьера (пункт 2.10 ГОСТ Р 57257-2016 и примечания к нему).

Квантовый захват (квантовый конфайнмент; англ. – «*quantum confinement*») – ограничение движения частицы в одном, двух или трёх пространственных измерениях при условии, что размерные параметры физической системы и длина волны де Бройля частицы находятся в пределах одного порядка. Основные характерные длины для возникновения квантового захвата: длина волны де Бройля, длина волны Ферми, средняя длина свободного пробега, борковский радиус (для экситонов) или длина их когерентности (пункт 2.5 ГОСТ Р 57257-2016 и примечание к нему).

Квазичастица (англ. – «*quasi-particle*») – элементарное возбуждение, или иначе квант коллективных колебаний, системы сильновзаимодействующих частиц. К квазичастицам относят экситоны (англ. – «*exciton*»), фононы (англ. – «*phonon*»), плазмоны (англ. – «*plasmon*»), магноны (англ. – «*magnon*»), поляритоны (англ. – «*polariton*») и т.д. (пункт 2.11 ГОСТ Р 57257-2016 и примечание к нему).

Квантовая интерференция (англ. – «*quantum interference*») – когерентная суперпозиция волновых функций (квантовых состояний) физической системы (пункт 2.7 ГОСТ Р 57257-2016). Квантовая интерференция усиливает нужные сигналы, одновременно подавляя шумы, что существенно значимо для высокочувствительных детекторов.

Квантовый переход (англ. – «*quantum jump*») –

квантово-механический термин, обозначающий явление, при котором электрон, находящийся на атомной орбите с низкой энергией вокруг ядра, внезапно переходит на атомную орбиту с более высокой энергией, что приводит к резкому повышению энергетических уровней, подобно подъёму по лестнице, когда атом поглощает энергию [31, с. 4].

Квантовое число (англ. – «*quantum number*») – число, определяющее одно из возможных дискретных значений физической величины, используемой для описания квантовой системы (пункт 2.8 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантование (англ. – «*quantization*») – процесс, в результате которого получают квантованные физические величины (пункт 2.2 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантованная величина (англ. – «*quantized*») – дискретное значение физической величины, кратное её элементарному количеству (пункт 2.3 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовая когерентность (англ. – «*quantum coherence*») – коррелированное изменение фазы волновой функции системы в состоянии квантовой суперпозиции (пункт 2.4 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовая декогерентность – процесс нарушения квантовой когерентности (примечание к пункту 2.4 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовая точка (англ. – «*quantum dot*») – наночастица или область, в которой происходит квантовый захват частиц во всех трёх пространственных измерениях (пункт 4.1 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовая яма (англ. – «*quantum well*») – потенциальная яма, в которой происходит квантовый захват частиц в одном измерении. Термин «квантовая яма» иногда применяют для обозначения явлений, происходящих не только в одном измерении (пункт 4.2 ГОСТ Р 57257-2016 и примечание к нему).

Квантовая проволока (квантовая струна; англ. – «*quantum wire*»; «*quantum string*») – проводящая квазиодномерная физическая система, в которой свободное перемещение частиц происходит только в одном измерении, а квантовый захват – в двух других измерениях (пункт 4.3 ГОСТ Р 57257-2016).

Квантовое превосходство (англ. – «*quantum supremacy*») – способности квантового компьютера выполнять задачи, выходящие за рамки возможностей самых мощных современных обычных суперкомпьютеров [32, с. 20].

Квантовая визуализация призраков (англ. – «*quantum ghost imaging*»), также известная как визуализация совпадений или двухфотонная визуализация (англ. – «*coincidence imaging or two-photon imaging*»), – метод, позволяющий получить изображение объекта, находящегося вне зоны прямой видимости камеры. В источнике создаются два запутанных фотона, каждый из которых имеет разную частоту. Один из них с оптической частотой регистрируется непосредственно камерой с высоким разрешением, подсчитывающей фотоны. Второй фотон другой частоты (например, инфракрасный) направляется на объект. Отражённый фотон регистрируется однофотонным детектором (так называемым «ковшовым» детектором). Изображение формируется на основе корреляций между обоими фотонами. Протокол формирования изображения

призрака был продемонстрирован и без квантовой запутанности (с использованием классической корреляции), хотя и с худшим разрешением [30, с. 19].

Получение изображений с суб-дробовым уровнем шума (англ. – «*sub-shot-noise imaging*») – одна из схем квантовой оптики, позволяющая обнаружить объект со слабым поглощением и сигналом ниже дробового шума. Дробовой шум (или пуассоновский шум; в громкоговорителе – акустический шум, воспринимаемый ухом как звук сыплющихся дробин) – это результат флуктуаций в обнаруженном количестве фотонов. Например, дробовой шум является пределом для лазеров. Этот предел можно преодолеть с помощью коррелированных фотонов. Обнаружение одного фотона «предвестника» означает присутствие коррелированного фотона, который исследует объект или окружающую среду [30, с. 19].

Квантовая иллюминация (англ. – «*quantum illumination*») – это квантовый протокол для обнаружения цели с помощью двух коррелированных (запутанных) фотонов. Один фотон, называемый «пассивным», сохраняется. Другой, называемый «сигнальным» фотоном, направляется к цели, отражается от неё, и оба фотона измеряются. Преимущество этого протокола сохраняется даже тогда, когда запутанность разрушается под воздействием шумов и потерь. Протокол квантовой иллюминации – один из тех, что в основном адаптированы для квантового радара, но он также может быть применён для медицинской визуализации или квантовой связи [30, с. 19].

III. НЕКОТОРЫЕ ОБЪЯСНЕНИЯ В УПРОЩЁННОЙ МОДАЛЬНОСТИ

Согласно Митию Каку, квантовый компьютер – нечто большее, чем просто очередная более мощная вычислительная машина. Это компьютер нового типа, способный справляться с задачами, которые цифровые компьютеры не могут решить в принципе, даже за бесконечное время [33].

В своей основе квантовые вычисления опираются на принципы квантовой механики – явления, которые действуют на атомном и субатомном уровне. В отличие от классических компьютеров, которые кодируют информацию в двоичных битах как 0 и 1, квантовые компьютеры используют квантовые биты, или кубиты, которые могут существовать одновременно в нескольких состояниях – концепция, известная как суперпозиция. Это позволяет квантовым системам обрабатывать огромные объёмы информации с несопоставимо более высокой скоростью по сравнению с традиционными системами. Другим основополагающим элементом квантовых вычислений является запутанность, отражающая явление, когда кубиты остаются взаимосвязанными независимо от расстояния. Этот принцип обеспечивает почти мгновенную связь и вычисления между системами [34]. В квантовых технологиях физические явления используются в атомном и субатомном масштабе, когда на уровне атомов мир становится «вероятностным» в отличие от «детерминистского» на более высоких уровнях размерности [24]. Образно и проще говоря,

квантовая физика – это набор законов, управляющих вселенной в крошечных масштабах. На крошечном, квантовом уровне всё становится странным. По сути, предсказуемое представление о мире рушится, и на его месте появляются новые правила, которые в лучшем случае кажутся противоречащими здравому смыслу, а в худшем – полностью противоречащими реальности. Квантовые системы также могут быть связаны друг с другом таким образом, который классическая физика не может описать. С помощью «запутанности» связанными частицами можно «дистанционно управлять», как бы далеко они ни находились друг от друга. Манипулируя локальным партнёром запутанной пары, вы мгновенно одновременно манипулируете и его референтным партнёром. Квантовые компьютеры в целом полагаются на квантовые биты (кубиты) – их версию битов (двоичных цифр), которые питают классические компьютеры [28].

По Михалу Крелине, **квантовые технологии** – это развивающаяся область физики и техники, основанная на квантово-механических свойствах – в частности, квантовой запутанности, квантовой суперпозиции и квантовом туннелировании – применительно к отдельным квантовым системам и их использованию в практических целях. Квантовые технологии описывают различные физические принципы квантово-механических систем, имеющих множество применений; например, технология захваченных ионов может служить квантовым битом для квантовых компьютеров и квантовым датчиком для магнитных полей или квантовых часов [30, с. 3].

Квантовые сети и коммуникации направлены на передачу квантовой информации (кубитов) по различным каналам, таким как волоконно-оптические линии или связь в свободном пространстве. **Квантовая сеть следующего поколения, называемая квантовой информационной сетью (QIN) или квантовым интернетом**, отличается своей способностью распространять запутанные кубиты. Квантовое зондирование направлено на более точные измерения различных физических переменных, таких как магнитные или электрические поля, градиенты гравитации, ускорение вращения и время. Квантовая визуализация – это подраздел квантовой оптики, который является активным (т.е. некоторый сигнал испускается, и его «отражение» обнаруживается) по сравнению с квантовыми датчиками (которые измеряют некоторую внешнюю величину) [6, с. 42–43].

Квантовый бит, или кубит, – это квантовый аналог классического информационного бита, – пишут Михал Крелина и Денис Дубравчик. В то время как классический бит может иметь только значения 0 или 1, кубиты описываются квантовыми состояниями. Квантовая суперпозиция означает, что **кубиты могут представлять два состояния одновременно**. Такое поведение имеет важные последствия для увеличения вычислительной мощности. С числом N кубитов мы можем представить 2^N состояний (т.е. количество представляемых состояний растёт экспоненциально с ростом числа кубитов). Заметим, что когда квантовое измерение применяется в конце квантового алгоритма, вся суперпозиция коллапсирует только в одно состояние.

Поэтому мы должны запускать один алгоритм несколько раз и делать выводы на основе статистического распределения отдельных состояний. При многократном повторении мы можем достичь экспоненциального возрастания скоростей. Однако такое увеличение вычислительной мощности требует разработки новых квантовых алгоритмов и отхода от традиционных вычислений. Существует также множество технических сложностей, которые ставят под сомнение нашу способность осуществлять квантовые вычисления в масштабе. Теорема о невозможности клонирования гласит, что квантовые данные кубита (или произвольного квантового состояния в целом) не могут быть скопированы или клонированы. С одной стороны, это имеет значительные последствия для увеличения сложности квантовых компьютеров из-за необходимости более сложной квантовой коррекции ошибок. Квантовые ошибки исправляются косвенно, поскольку измерение актуального состояния приведёт к его разрушению. С другой стороны, это обеспечивает беспрецедентные возможности применения для обеспечения безопасности, когда коммуникации невозможно подслушать. Вмешательство злоумышленника потребует квантового измерения, что приведёт к квантовому коллапсу в одно состояние. Такую ситуацию можно легко обнаружить, сравнив измерения отправителя и получателя. Квантовая запутанность – ещё одно ключевое понятие, обозначающее сильную корреляцию между двумя или более кубитами, связь, не имеющую классического аналога: любая квантовая манипуляция с одним из запутанных кубитов будет иметь мгновенный эффект на другие связанные кубиты, независимо от расстояния или препятствий между ними. Квантовая запутанность является неотъемлемой характеристикой большинства квантовых технологий, позволяющей им достигать фундаментальных пределов современной физики, определяемых принципом неопределённости Гейзенберга, и является ключевым элементом многих квантовых алгоритмов. В целом, кубиты и системы квантового зондирования могут быть реализованы с использованием различных квантово-физических свойств, таких как электрический ток в сверхпроводящей электронике, поляризация или количество фотонов, спин или энергетическое состояние электронов, ядер или молекул. Все эти квантовые системы чрезвычайно хрупки, и многими из них можно манипулировать только при температурах, близких к абсолютному нулю (около -273°C). Таким образом, описанные выше квантовые свойства не могут быть напрямую непосредственно применены в оружии, поскольку даже малейшее нарушение приводит к потере квантовой информации или чувствительности квантовых датчиков [6, с. 41]. И речь идёт о более сложных модальностях воплощения потенциалов квантовых технологий в технических решениях военного назначения.

IV. КЛЮЧЕВЫЕ ПАРАМЕТРЫ И ВОЗМОЖНОСТИ

Требуемая инфраструктура зависит от архитектуры кубита. Например, сверхпроводящие кубиты требуют сверхпроводящих кабелей для работы, тогда как фотонные кубиты нуждаются в лазерах [7].

Ключевые технические характеристики: количество кубитов, реализованных в квантовом компьютере, – размер квантового регистра; степень связности кубитов в регистре; точность инициализации квантового регистра; точность измерения состояний кубитов; время жизни кубитов; набор допустимых логических операций; достоверность (точность) реализации набора логических операций, которые могут быть выполнены над квантовым регистром [27].

V. ВОЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Суть военного приложения квантовых технологий заключается в интеграции в основу военной техники таких явлений, как квантовая суперпозиция, квантовая запутанность, квантовое туннелирование и ряда других, для достижения возможностей, значительно превосходящих возможности классических для современности военных систем.

Как отмечает Кенна Хьюз-Кастлберри, военные исследуют квантовые технологии уже несколько десятилетий – ещё с 1950-х гг. [35]

В перспективе до 2040 года экспектативно заявляется значительное изменение глобального инновационного и технологического ландшафта, что приведёт к изменению характера военных действий, а также возможностей, концепций и доктрин, используемых участниками боевых действий на поле боя. Таким образом, необходимо понять эти технологические изменения и изучить их потенциальное влияние и воздействие на будущее поле боя, чтобы сформулировать политику и инвестиционные решения, максимально защищённые от негативных сценариев будущего [36, с. ii].

Во многих публикациях квантовые технологии позиционируются как экспектативно способные переопределить современную войну и в будущем кардинально изменить онтологию и ход, саму природу ведения боевых действий, определяюще влиять в будущем на ход и исход сражений, иметь решающее значение для предвидения завтрашних полей сражений.

Так, квантовый криптоанализ рассматривается как «изначально наступательная способность» [32, с. 18].

Исследование массивов существующих научных публикаций и официальных документов относительно военного применения квантовых технологий позволяет сделать вывод о потенциальной применимости и тестируемом применении в военном использовании следующих вполне реальных квантовых технологических решений:

– **квантовое разведывательное зондирование и детекция объектов** (англ. – «*quantum sensing*») военного назначения: работает за счёт использования свойств квантовой механики для преодоления текущих объективно обусловленных ограничений сенсорных технологий, за счёт использования исключительной чувствительности квантовых частиц, квантовой суперпозиции и квантовой запутанности для измерения малейших отклонений физических величин квантовыми датчиками и зондирующими системами (например, гравитационных изменений – квантовыми сверхпроводящими гравиметрами, отклонений магнитных полей – квантовыми магнитометрами,

отклонений в потоках фотонов – квантовыми радарными) всепогодного, дневного и ночного тактического зондирования на варьируемых (дальних или ближних) дистанциях, в активном или пассивном режиме, в режиме «невидимости», позволяющими нефиксировано для противника обнаруживать и идентифицировать то, что ранее позиционировалось как неощутимое и недетектируемое, – в целях обнаружения, идентификации и классификации вражеских подводных лодок или самолётов-«невидимок», скрытых минных заграждений, самодельных взрывных устройств и датчиков противника, определения местоположения и картирования подземных сооружений – бункеров и туннелей, шахтных ракетных пусковых установок, внутрискальных заглублённых укрытий подводных лодок и мест хранения боекомплектов, соответственно – для рекогносцировки;

– **квантовые системы детекции объектов прицеливания, обеспечения целеуказания и динамического корректирования прицеливания;**

– **квантовые системы формирования изображений и в целом квантовые системы визуализации** военного назначения (квантовая визуализация призраков, получение изображений с суб-дробовым уровнем шума, квантовая иллюминация), позволяющие обеспечить видимость и точное распознавание с чёткой визуализацией образов вне зоны прямой видимости, в условиях низкой освещённости и плохой видимости (ночное время, сильный снегопад или дождь, сильный туман, сильная запылённость или задымлённость, мутная вода, заросли джунглей), соответственно – редуцировать усилия противника по маскировке целей и/или применению им других технологий обмана поиска целей (постановка ложных целей и др.), обеспечивая должную ситуационную осведомлённость;

– **квантовая инерциальная навигация и квантовое позиционирование** военного назначения (англ. – *«quantum inertial navigation»*) – обеспечивающая навигацию, независимую от GPS (уязвимой для помех, глушения или спуфинга (перехвата управления) в условиях сценариев с интенсивной радиоэлектронной борьбой и доступной отнюдь не на всех территориях мира; в любом случае GPS-навигация недоступна в подземных и подводных областях), – посредством задействования квантовых компасов (см., например [37]), квантовых акселерометров, квантовых гироскопов, квантовых часов, инерциальных квантовых датчиков; например – картирование морского дна и навигация по нему или определение проходов в ледовых полях без использования легко обнаруживаемого гидролокатора;

– **квантовые и «постквантовые» системы связи и криптографии** военного назначения (англ. – *«quantum communications»*; франц. – *«communications quantiques»*), в том числе квантовый интернет, безопасность и необнаруживаемость которых определяются генерацией и использованием квантового распределения ключей – ключей шифрования, защищённых даже от передовых технологий взлома (дешифрования); мультиплексирование квантовой и классической связи;

– **квантовая радиоэлектронная борьба** (англ. – *«quantum electronic warfare»*);

– **отказоустойчивые квантовые вычисления и**

гибридные (сочетающие классические и квантовые) **вычисления**, в том числе моделирование, под военные задачи разведки, наблюдения, рекогносцировки, моделирования поля боя, района боевых действий или сложного сценария гибридных действий (с помощью цифровых моделей-двойников или киберметавселенной (см.: [38]), управления силами и средствами, управления боевыми действиями.

Обсуждается императив квантового превосходства [39, с. 35 и др.].

VI. ПРОБЛЕМЫ, ТОРМОЗЯЩИЕ СОВРЕМЕННОЕ ВОЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ, И ПОЧЕМУ НЕ СЛЕДУЕТ ИХ ПРЕУВЕЛИЧИВАТЬ

Сегодня звучит множество прогнозов относительно того, через сколько месяцев или лет ждать промышленного производства серийных образцов военной техники, основанной на тех или иных сегментах квантовых технологий. Мы не станем в это вдаваться, поскольку всё это слишком умозрительно.

При этом, перефразируя Стивена Тилла, можно сказать, что квантовые технологии не являются «волшебной пулей» [40].

Квантовые технологии представляют собой набор множества разнородных технологий и технических решений, технических устройств и систем, которые имеют разную степень текущей готовности и будущие сроки разработки и внедрения. Их приложения быстро развиваются и расширяются, и многие из них ещё предстоит открыть [17].

К числу реальных существенных проблем текущего периода, тормозящих современное военное применение квантовых технологий, следует отнести:

– чрезмерно высокая стоимость (дороговизна) опытных образцов и экспериментальных прототипов квантовых технических устройств и систем;

– слишком пока ограниченный радиус верифицируемого эффективного действия опытных образцов и экспериментальных прототипов квантовых технических устройств и систем;

– недостижимость пока должного уровня миниатюризации опытных образцов и экспериментальных прототипов квантовых технических устройств и систем;

– чрезмерная энергоёмкость опытных образцов и экспериментальных прототипов квантовых технических устройств и систем и их привязанность к стационарным энергетическим сетям;

– хрупкость (чувствительность к внешним воздействиям) опытных образцов и экспериментальных прототипов квантовых технических устройств и систем;

– чрезмерная сложность реального воплощения опытных образцов и экспериментальных прототипов квантовых технических устройств и систем (например, под ряд задач из-за крайней чувствительности кубитов к внешним помехам требуются экстремальные температурные условия, близкие к абсолютному нулю (около -273°C);

– нерешённость проблемы управления ошибками квантовых систем;

– явный дефицит профильных высококвалифицированных специалистов в сфере

квантовых технологий.

Следует понимать, что прорывные (то есть те, что радикально меняют технологический ландшафт ведения войны) квантовые технологии внедряются и будут внедряться по частям итеративно и поэтапно. И когда будет пересечён критический рубеж, за которым взрывным образом наступят необратимые изменения в экспоненциальном росте военно-технического превосходства с установлением и удержанием глобального технологического лидерства, предиктивно точно установить не представляется возможным. Даже если хорошо «выстрелит» всего лишь одна и вышеперечисленных позиций военного применения квантовых технологий, это уже может радикально изменить военное дело. И это может произойти, что называется, завтра. Более того уже давно известны и действуют вполне реальные технические решения в сфере квантовых вычислений. А значит недооценивать рассматриваемые технологии в реальном их военном применении было бы легкомысленно и необоснованно, даже при наличии зашлакованности этой тематики некритично-восхищёнными утверждениями и неосновательными ожиданиями.

Вопрос не в «если», а когда квантовые вычисления начнут оказывать своё влияние на глобальные оборонные и наступательные системы. Путь к полноценной интеграции квантовых технологий и решений в военную сферу может быть (и, скорее всего, будет) нелинейным, но постепенные достижения уже ясно сигнализируют о многообещающем будущем [34].

По заявлению официального представителя Минобороны США, квант – это «инструмент для другого инструмента; надлежит выстроить целую систему не только вокруг кванта, но и вокруг цепочки поставок и рабочей силы, идущей в обратном направлении, вплоть до конечного использования. И все эти звенья в цепочке важны, чтобы действительно убедиться, что мы успешны. И это большая часть работы, которую мы делаем прямо сейчас – пытаемся завершить эти дуги конечного использования. В перспективе прогресс не будет “равномерным” по всем квантовым приоритетам» [26].

По Адаму Дэвидсону, для того чтобы задействовать неиспользованный потенциал квантовой области, необходима кардинальная смена парадигмы в военном деле. Глубокие аномалии, уникальные характеристики и контринтуитивная природа квантовой области должны быть полностью поняты и приняты, если мы хотим реализовать предлагаемый этими технологиями потенциал. Военному руководству необходимо следовать за наукой, углубляясь в квантовую область, иначе оно рискует отстать от потенциальных противников [2, с. 15].

Впрочем, относительно таких уж явных достижений военной мысли по применению квантовых технологий в военных целях можно высказать и сомнения. На память приходит афера с СОИ.

Превосходство, по словам Аджая Леле, можно рассматривать как процесс, направленный на то, чтобы превзойти противника, и как удерживаемый результат такого процесса. Этот процесс реализации усилий, направленных на то, чтобы превзойти противника может включать в себя различные действия. В качестве одного

из таких действий государства могут рассматривать технологическое превосходство, которое позволит им послать противнику сигнал о возможности своего экономического и военного господства. Широкой целью здесь может быть создание обстановки дискомфорта для конкурента. То, что наблюдается сегодня в квантовой области, и есть этот дискомфорт. Все понимают, что квантовые технологии сулят большие перспективы в будущем. Ожидается, что они нарушат существующую практику вычислений и коммуникаций. Это может оказать каскадное воздействие на различные гражданские и военные практики. Возможно, сейчас это ещё не реальность, но по мере развития квантовых технологий эти государства, скорее всего, начнут настаивать на разработке так называемого квантового оружия. Тогда начнётся настоящая гонка квантовых вооружений. Необходимо провести различие между квантовой гонкой и гонкой квантовых вооружений. Существует множество игроков (как государственных, так и частных), которые стремятся совершить прорыв в квантовой области. Поскольку все эти годы квантовые технологии всё ещё находятся на начальной стадии развития, многие считают, что если они добьются успеха первыми, то смогут получить серьёзное экономическое преимущество. Среди некоторых держав в настоящее время имеет место, скорее, гонка квантовых технологий, чем гонка основанных на них вооружений и иных военных систем [39, с. 170–171].

Но это не снимает с повестки дня вопрос о военном применении таких технологий.

VII. ПОНЯТИЕ «КВАНТОВАЯ ВОЙНА»

Обсуждение военного применения квантовых технологий у немалого числа авторов сводится к прогнозам радикальной трансформации военной парадигмы в направлении теоретизации и практического воплощения концепта «квантовой войны» (англ. – «*quantum warfare*»).

Согласно дефиниции Михала Крелины, **квантовая война** – это война с использованием квантовых технологий в военных целях, с соответствующей детерминацией организации разведки, обеспечения безопасности и обороноспособности во всех сферах ведения войны, с порождением новых военных стратегий, доктрин, сценариев и мира, а также вопросов этики [30, с. 3]. К такому подходу сводятся и другие известные определения квантовой войны – как войны с применением квантовых технологий, что, конечно, не отвечает полноценному признаку вида войны.

VIII. РЕГУЛЯТОРИКА

Квантовые технологии, хотя и относимые к технологиям двойного назначения, – при всём высоком положительном их потенциале это и потенциально разрушительная дисциплина, способная повлиять на многие виды человеческой деятельности. К военным квантовым технологиям должны предъявляться более жёсткие требования, чем к промышленным или общественным приложениям, в частности, военные квантовые технологии требуют большей осторожности при рассмотрении возможного развёртывания на поле

боя [30, с. 1, 20].

В то время как одни государства настаивают на глобальном регулировании квантовых технологий вообще и военного их применения, в частности, другие ставят во главу угла исключительно собственные приоритеты военного, военно-технического, промышленного и экономические превосходства [41].

Ряд государств уже имеет профильные документы стратегического планирования в сфере квантовых технологий, в их числе – США [9], Великобритания [42; 43], Канада [15], Франция [16]. Есть и у НАТО документы, заявляющие приоритеты и императивы технологического превосходства и лидерства [8].

В США Программа, направленная на тестирование эвристики квантовых вычислений, связана с положением Закона США «Об ассигнованиях на национальную оборону на 2024 год» [44], который содержит несколько предписаний (секции 219, 220, 230 и др.), понуждающих Пентагон к внедрению квантовых вычислений для новых миссий в сфере обеспечения национальной безопасности [26]. Секция 234 Закона США от 2019 года «О полномочиях в области национальной обороны» предписывала министру обороны создать программу исследований и развития квантовых технологий в тандеме с частным сектором и другими правительственными группами через заместителя министра обороны по исследованиям и инженерии [35]. Ещё двумя ключевыми актами являются Закон США от 21.12.2018 «О национальной квантовой инициативе» [45] и Закон США от 21.12.2022 «О готовности к кибербезопасности квантовых вычислений» [29].

На март 2025 года в Великобритании отсутствуют правовые акты, которые бы регулировали артикулированно военные квантовые технологии.

Представляет интерес Закон Франции от 13.07.2018 № 2018-607 «О военном программировании на 2019–2025 годы и о различных положениях, касающихся обороны» [46], раздел 3.4.1 Доклада, приложенного и утверждённого в соответствии со статьёй 2 которого (отменена Законом от 01.08.2023 № 2023-703) предусматривал развитие прорывных инноваций и операционного превосходства в квантовых вычислениях.

Как сказано в подразделах 2 и 4 раздела II Концепции регулирования отрасли квантовых коммуникаций в Российской Федерации до 2030 года, утверждённой Распоряжением Правительства РФ от 11.07.2023 № 1856-р, «необходимо формирование правового института, регулирующего использование квантовых коммуникаций в существующих сетях связи, а также при необходимости создание новых сетей квантовой связи. Правовое регулирование квантовых коммуникаций законодательством Российской Федерации в области связи будет происходить через создание правового механизма тестирования, опытной эксплуатации и внедрения технологий без избыточных административных процедур с обеспечением необходимого уровня безопасности и контролируемости со стороны государственных органов. Правовым средством создания такого механизма могут стать экспериментальные правовые режимы в сфере цифровых инноваций, которые целесообразно

устанавливать для регулирования квантовых коммуникаций в отдельных сферах, включая беспилотный транспорт и логистику, интернет вещей, портативную электронику, современные и перспективные сети мобильной связи, а также иные сферы, где есть необходимость в повышении уровня информационной безопасности. Общественные отношения в области квантовых коммуникаций предусматривают взаимодействие субъектов права, имеющих разный правовой статус, по поводу объектов права, находящихся в разных правовых режимах. Добросовестность действий участников квантовых коммуникаций должна обеспечиваться институтами юридической ответственности, которые требуют совершенствования при расширении сферы использования квантовых коммуникаций. В этих целях должны быть усовершенствованы механизмы гражданско-правовой, административной и уголовной ответственности за вред, причинённый в процессе использования квантовых коммуникаций. Также предполагается изменение законодательства Российской Федерации в части обеспечения компенсации всех видов вреда в отрасли квантовых коммуникаций, включая закрепление солидарной ответственности и страхования гражданской ответственности».

IX. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Квантовые технологии – это технологии потенциально двойного назначения, и потому таковые представляют интерес для военного применения.

Может показаться, что квантовые технологии – далёкое будущее, однако первые квантовые датчики уже есть на рынке (например, атомные часы и гравиметры) [24]. К 2025 году квантовые вычисления больше не являются футуристической концепцией – они меняют индустрию, правительства и научные исследования в режиме реального времени, они превратились из экспериментальной технологии в реалии конкурентной гонки между мировыми сверхдержавами, частными предприятиями и исследовательскими институтами. Этот год знаменует собой значительный переход, когда квантовые компьютеры не только демонстрируют теоретический потенциал, но и реализуют реальные приложения, которые раньше считались невозможными для классических вычислений [41]. Объем рынка квантовых технологий военного назначения оценивался в 1,6 млрд. долларов США в 2024 году и, как ожидается, достигнет оценки в 40,4 млрд. долларов США в 2037 году, увеличиваясь в среднем на 28,2 % в течение прогнозируемого периода, т.е. 2025–2037. В 2025 году объем отрасли квантовой войны оценивается в 2 млрд. долларов США [47]. Квантовые технологии уже сегодня, в 2025 году, способны переопределить будущий глобальный баланс военных сил [34].

Интенсивный рост разработки и внедрения квантовых технологических инноваций приносит как возможности, так и проблемы одновременно влечёт риски кибервойн и других весьма существенных проблем и этических дилемм. Вопрос о ключевых субъектах и модальностях регулирования квантовых технологий, обеспечения этического и сообразно

императивам международного гуманитарного права применения таких технологий не только остаётся открытым, но и постепенно обретает всё большую остроту. В обязательном порядке должны быть нормативно урегулированы разработка, тестирование, оборот, реализация и применение квантовых технологий. Создание и гармонизация нормативно-правовой базы в основе контролируемых технологий становится высоко-актуальной задачей.

БЛАГОДАРНОСТИ

Настоящим автор выражает благодарность Куприяновскому Василию Павловичу, систематически помогающему интереснейшими материалами и обращающему внимание на интереснейшие аспекты, а также выражает глубокую признательность редакции настоящего журнала.

БИБЛИОГРАФИЯ

- [1] *Greene R.* The 33 Strategies of War [33 стратегии войны]. – London: Penguin Group; Profile books, 2007. – xxii; 471 p.
- [2] *Davidson A.* A new dimension of war: the quantum domain [Новое измерение войны: квантовый домен]. – Toronto: Canadian Forces College, 2018. – 22 p.
- [3] *Williams L.* Has the world reached an age of quantum warfare? [Достиг ли мир эпохи квантовой войны?] // <https://www.investmentmonitor.ai/tech/quantum-warfare-world-age-technology/?cf-view>. – 14.10.2022.
- [4] *Понкин И.В., Куприяновский В.П., Морева С.Л., Понкин Д.И.* Подрывные технологические инновации: понятие, значение и онтология // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Vol. 8. – № 8. – С. 60–68.
- [5] *Srivastava A.K.* Preparing for Quantum Warfare [Подготовка к квантовой войне] // <https://cenjows.in/preparing-for-quantum-warfare/>. – 09.01.2025.
- [6] *Krelina M., Dúbravčík D.* Quantum Technology for Defence: What to Expect for the Air and Space Domains [Квантовые технологии для обороны: Чего ожидать в воздушной и космической сферах] // Journal of the JAPCC. – 2022 / 2023, Winter. – Edition 35. – P. 39–46.
- [7] Quantum Computing in Aerospace, Defense and Security – Thematic Intelligence [Квантовые вычисления в аэрокосмической отрасли, обороне и безопасности – Тематическая разведка] // <https://www.globaldata.com/store/report/quantum-computing-in-defense-theme-analysis/>. – 04.04.2024.
- [8] Summary of NATO's Quantum Technologies Strategy [Краткое изложение стратегии НАТО в области квантовых технологий] // https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_221777.htm. – 16.01.2024.
- [9] National strategic overview for quantum information science / Subcommittee on quantum information science under the Committee on science of the National science & technology council, september 2018 [Отчёт NSTC 2018 года «Национальный стратегический обзор квантовой информационной науки»] // <https://www.quantum.gov/strategy/>; https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018_NSTC_National_Strategic_Overview_QIS.pdf.
- [10] QBI: Quantum Benchmarking Initiative [Инициатива квантового бенчмаркинга] // <https://www.darpa.mil/research/programs/quantum-benchmarking-initiative>.
- [11] *Middleton A., Till S.* Quantum Information Processing Landscape 2020: Prospects for UK Defence and Security [Ландшафт квантовой обработки информации 2020: Перспективы для обороны и безопасности Великобритании]. DSTL/TR121783, June 2020. – Salisbury: UK Ministry of Defence; Defence Science and Technology Laboratory, 2020. – 142 p.
- [12] Military and Security Developments Involving the People's Republic of China. 2023: Annual Report to Congress [Военные события и события в области безопасности с участием Китайской Народной Республики. 2023: Ежегодный доклад Минобороны США Конгрессу США]. – Washington (D.C., USA): US Department of Defense, 2023. – xii; 192 p.
- [13] Israel Ensuring Military Superiority with Investment in Quantum Technology [Израиль обеспечивает военное превосходство за счёт инвестиций в квантовые технологии] // <https://www.insidequantumtechnology.com/news-archive/israel-ensuring-military-superiority-with-investment-in-quantum-technology/>. – 02.01.2020.
- [14] *Daigle L.* Quantum-radar, other quantum-tech projects pursued by BGU and U.S. and Israeli defense agencies [Квантовый радар и другие проекты в области квантовых технологий, реализуемые Университетом Бен-Гурион и американскими и израильскими оборонными ведомствами] // <https://militaryembedded.com/radar-signal-processing/quantum-technology-projects-being-pursued-by-bgu-with-israel-defense-ministry-plus-u-s-defense-agencies>. – 02.07.2019.
- [15] Canada's National Quantum Strategy [Канадская национальная квантовая стратегия] // <https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy/en/canadas-national-quantum-strategy>.
- [16] France 2030: stratégie nationale pour les technologies quantiques [Франция 2030: национальная стратегия развития квантовых технологий] // <https://www.entreprises.gouv.fr/priorites-et-actions/autonomie-strategique/soutenir-linnovation-dans-les-secteurs-strategiques-14>.
- [17] Quantum Technology: The Defence Imperative [Квантовые технологии: Оборонный императив] / Australian Army Research Centre // <https://researchcentre.army.gov.au/library/land-power-forum/quantum-technology-defence-imperative>. – 05.05.2020.
- [18] 量子未来社会ビジョン. 量子技術により目指すべき未来社会ビジョンとその実現に向けた戦略, 04.04.2022 [Видение квантового общества будущего. Видение будущего общества, которое будет достигнуто благодаря квантовым технологиям, и стратегии его реализации] // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshimirai_220422.pdf.
- [19] 量子産業の創出・発展に. に向けた推進方策 [Создание и развитие квантовой индустрии. Меры по стимулированию создания и развития квантовой индустрии] // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/240409_q_measures.pdf.
- [20] 量子技術イノベーション戦略. ロードマップ改訂, 04.04.2022 [Стратегия инноваций в области квантовых технологий. Пересмотренная дорожная карта] // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/roadmap_220422.pdf.
- [21] 量子未来産業創出戦略 [Стратегия создания квантовых отраслей будущего] // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/230414_mirai.pdf.
- [22] 대한민국 양자과학기술 전략 27.06.2023 [Стратегия развития квантовой науки и технологий в Республике Корея] // <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&bbsSeqNo=65&ntSeqNo=3017410>.
- [23] *Blair A.* How is quantum technology used in the military? Quantum technology is at the forefront of most advanced nations' long-term defence planning [Как квантовые технологии используются в военной сфере? Квантовые технологии находятся в авангарде долгосрочного оборонного планирования большинства развитых стран] // <https://www.army-technology.com/news/how-is-quantum-technology-used-in-the-military/>. – 22.04.2024.
- [24] *Амеронген, ван М.* Квантовые технологии в сфере обороны и безопасности // <https://www.nato.int/docu/review/ru/articles/2021/06/03/kvantovye-tehnologii-v-sfere-oborony-i-bezopasnosti/index.html>. – 03.06.2021.
- [25] *Naujokaitytė G., Burke F.* NATO to launch €1b fund for high tech start-ups in dual use technologies [НАТО запустит фонд в размере 1 млрд евро для высокотехнологичных стартапов в области технологий двойного назначения] // <https://sciencebusiness.net/news/nato-launch-eu1b-fund-high-tech-start-ups-dual-use-technologies>. – 12.04.2022.
- [26] DoD Quantum Programs Set to Take Off 'Very Soon,' Official Says [Квантовые программы Министерства обороны будут запущены «очень скоро», по заявлению официального представителя] // <https://www.meritalk.com/articles/dod-quantum-programs-set-to-take-off-very-soon-official-says/>. – 24.09.2024.
- [27] Дорожная карта развития «сквозной» цифровой технологии «квантовые технологии», 2019 // <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019kvantyi.pdf>
- [28] *Biercuk M.J., Fontaine R.* The Leap into Quantum Technology: A Primer for National Security Professionals [Прыжок в квантовые технологии: Учебник для специалистов по национальной безопасности] // <https://warontherocks.com/2017/11/leap-quantum-technology-primer-national-security-professionals/>. – 17.11.2017.
- [29] Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act – Public Law

- № 117-260, Dec. 21, 2022 [Закон США от 21.12.2022 «О готовности к кибербезопасности квантовых вычислений»] // <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/7535/text>
- [30] *Krelina M.* Quantum technology for military applications [Квантовые технологии военного применения] // EPJ Quantum Technology. – 2021. – № 8. – Article № 24. – 53 p.
- [31] Korea's National Quantum Strategy, 27.06.2023 [Национальная квантовая стратегия Кореи] / Ministry of Science and ICT // https://quantuminkorea.org/wp-content/uploads/2024/06/Koreas-National-Quantum-Strategy-2023_c.pdf
- [32] Quantum Computing and defence [Квантовые вычисления и оборона] // The Military Balance. 2019 / Edited by the International Institute for Strategic Studies (IISS). – New York: Routledge, 2019. – P. 18–20.
- [33] *Какую М.* Квантовое превосходство: революция в вычислениях, которая изменит всё: Пер. с англ. – М.: Альпина нон-фикшн, 2024.
- [34] *Myatt S.* Inside the Quantum-Powered Defense Landscape of the Future [Оборонный ландшафт будущего с квантовой мощью] // <https://www.govconwire.com/2025/01/future-quantum-defense-applications/> – 14.01.2025.
- [35] *Hughes-Castleberry K.* Quantum Warfare [Квантовая война] // <https://thequantuminsider.com/2021/08/07/quantum-warfare/> – 07.08.2021.
- [36] Innovative technologies shaping the 2040 battlefield [Иновационные технологии, определяющие специфику поля боя к 2040 году]. – Brussels, 2021. – iii; vii; 129 p.
- [37] *Gilesarchive M.* The US and China are in a quantum arms race that will transform warfare: Radar that can spot stealth aircraft and other quantum innovations could give their militaries a strategic edge [США и Китай участвуют в гонке квантовых вооружений, которая изменит ход военных действий: Радар, способный обнаруживать самолёты-невидимки, и другие квантовые инновации могут дать их вооружённым силам стратегическое преимущество] // <https://www.technologyreview.com/2019/01/03/137969/us-china-quantum-arms-race/> – 03.01.2019.
- [38] *Понкин И.В.* Военная аналитика. Военное применение искусственного интеллекта и цифры / Консорциум «Аналитика. Право. Цифра». – М.: Буки Веди, 2022. – 106 с. https://moscou-ecole.ru/ponkin_milit_ai/
- [39] *Lele A.* Quantum Technologies and Military Strategy [Квантовые технологии и военная стратегия]. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland, 2021. – ix; 182 p.
- [40] «Forget much of what you may have read»: DSTL on quantum computing [«Забудьте многое из того, что вы, возможно, читали»: DSTL о квантовых вычислениях] // https://defence.nridigital.com/global_defence_technology_sep20/dstl_on_quantum_computing
- [41] *Neff J.* Quantum Computing in 2025: The Future of AI and the Race for Quantum Supremacy [Квантовые вычисления в 2025 году: Будущее искусственного интеллекта и гонка за квантовое превосходство] // <https://therealistjuggernaut.com/2025/02/01/quantum-computing-in-2025-the-future-of-ai-and-the-race-for-quantum-supremacy/> – 01.02.2025.
- [42] UK National Quantum Technologies Programme [Национальная программа Великобритании по квантовым технологиям] // <https://uknqt.ukri.org>
- [43] National quantum strategy [Национальная квантовая стратегия] // <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>
- [44] 2024 National Defense Authorization Act (NDAA) [Закон США «Об ассигнованиях на национальную оборону на 2024 год»] // <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/2670/text>
- [45] National Quantum Initiative Act 2018 – Public Law № 115–368, Dec. 21, 2018 [Закон США от 21.12.2018 «О национальной квантовой инициативе»] // <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227/text>
- [46] Loi № 2018-607 du 13 juillet 2018 relative à la programmation militaire pour les années 2019 à 2025 et portant diverses dispositions intéressant la défense [Закон Франции от 13.07.2018 № 2018-607 «О военном программировании на 2019–2025 годы и о различных положениях, касающихся обороны»] // <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037192797>
- [47] Quantum Warfare Market: Global Market Size, Forecast and Trend Highlights Over 2025–2037 [Рынок квантовой войны: Размер мирового рынка, прогноз и тенденции развития на 2025-2037 годы] // <https://www.researchnester.com/reports/quantum-warfare-market/7115> – 06.02.2025.

Quantum technologies for military purposes: concepts, species diversity, realities, regulation

Igor Ponkin

Abstract – The article is devoted to the study and explanation of the concept and concept of quantum technologies for military purposes. The author notes that the concept and the most important and promising innovative quantum technologies based on it have all grounds and prerequisites to become breakthrough (subversive) technologies in the military sphere. Though today these are mostly experimental developments, there are already quite working serial industrial technical devices, realizing these or those quantum technologies. Such already working (applied) and perspective quantum technologies are breakthrough technologies with huge potential, including and first of all - for military, changing the world and methods of military work. The essence of military application of quantum technologies consists in integration of such phenomena as quantum superposition, quantum entanglement, quantum tunneling and some other phenomena into the basis of military equipment in order to achieve capabilities, considerably exceeding the capabilities of classical for modern military systems. The article presents a basic thesaurus of the thematic horizon of quantum technologies. The author presents classification of real quantum technological solutions applicable, tested and potentially applicable in military sphere: quantum reconnaissance sensing and object detection; quantum systems of targeting object detection, target designation and dynamic targeting correction; quantum imaging systems and in general quantum visualization systems for military purposes; quantum inertial navigation and quantum positioning for military purposes; quantum and “post-quantum” systems; quantum and “post-quantum” systems for military navigation and positioning; quantum and “post-quantum” systems for military applications. The problems inhibiting modern military application of quantum technologies and prospects of their development are shown.

Keywords — quantum technologies, qubit, military applications of quantum technologies, digital ontologies, artificial intelligence, competition of technological advantages, regulatory technologies (RegTech).

Ponkin Igor V., Doctor of science (Law), professor of the Institute of Public Administration and Civil Service of the Russian Presidential Academy of National Economy and Public Administration (Moscow, Russia) (IPACS, RANEPa), State professor. (e-mail: ponkin-iv@ranepa.ru).
ORCID: 0000-0003-4438-6649

REFERENCES

- [1] *Greene R.* The 33 Strategies of War. – London: Penguin Group; Profile books, 2007. – xxiii; 471 p.
- [2] *Davidson A.* A new dimension of war: the quantum domain. – Toronto: Canadian Forces College, 2018. – 22 p.
- [3] *Williams L.* Has the world reached an age of quantum warfare? // <https://www.investmentmonitor.ai/tech/quantum-warfare-world-age-technology/?cf-view> – 14.10.2022.
- [4] *Ponkin I.V., Kupriyanovsky V.P., Moreva S.L., Ponkin D.I.* Podryvnye tekhnologicheskie innovatsii: poniatie, znachenie i ontologiya [Disruptive technological innovation: concept, meaning and ontology] // International Journal of Open Information Technologies. – 2020. – Vol. 8. – № 8. – P. 60–68. In Russian.
- [5] *Srivastava A.K.* Preparing for Quantum Warfare // <https://cenjows.in/preparing-for-quantum-warfare/> – 09.01.2025.
- [6] *Krelina M., Dúbravčík D.* Quantum Technology for Defence: What to Expect for the Air and Space Domains // Journal of the JAPCC. – 2022 / 2023, Winter. – Edition 35. – P. 39–46.
- [7] Quantum Computing in Aerospace, Defense and Security – Thematic Intelligence // <https://www.globaldata.com/store/report/quantum-computing-in-defense-theme-analysis/> – 04.04.2024.
- [8] Summary of NATO’s Quantum Technologies Strategy // https://www.nato.int/cps/en/natohq/official_texts_221777.htm – 16.01.2024.
- [9] National strategic overview for quantum information science / Subcommittee on quantum information science under the Committee on science of the National science & technology council, september 2018 // <https://www.quantum.gov/strategy/>; https://www.quantum.gov/wp-content/uploads/2020/10/2018_NSTC_National_Strategic_Overview_QIS.pdf
- [10] QBI: Quantum Benchmarking Initiative // <https://www.darpa.mil/research/programs/quantum-benchmarking-initiative>
- [11] *Middleton A., Till S.* Quantum Information Processing Landscape 2020: Prospects for UK Defence and Security. DSTL/TR121783, June 2020. – Salisbury: UK Ministry of Defence; Defence Science and Technology Laboratory, 2020. – 142 p.
- [12] Military and Security Developments Involving the People’s Republic of China. 2023: Annual Report to Congress. – Washington (D.C., USA): US Department of Defense, 2023. – xii; 192 p.
- [13] Israel Ensuring Military Superiority with Investment in Quantum Technology // <https://www.insidequantumtechnology.com/news-archive/israel-ensuring-military-superiority-with-investment-in-quantum-technology/> – 02.01.2020.
- [14] *Daigle L.* Quantum-radar, other quantum-tech projects pursued by BGU and U.S. and Israeli defense agencies // <https://militaryembedded.com/radar-ew/signal-processing/quantum-technology-projects-being-pursued-by-bgu-with-israel-defense-ministry-plus-u-s-defense-agencies> – 02.07.2019.
- [15] Canada’s National Quantum Strategy // <https://ised-isde.canada.ca/site/national-quantum-strategy/en/canadas-national-quantum-strategy>
- [16] France 2030: stratégie nationale pour les technologies quantiques // <https://www.entreprises.gouv.fr/priorites-et-actions/autonomie-strategique/soutenir-linnovation-dans-les-secteurs-strategiques-14>
- [17] Quantum Technology: The Defence Imperative / Australian Army Research Centre // <https://researchcentre.army.gov.au/library/land-power-forum/quantum-technology-defence-imperative> – 05.05.2020.
- [18] 量子未来社会ビジョン。量子技術により目指すべき未来社会ビジョンとその実現に向けた戦略, 04.04.2022 // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/ryoshimirai_220422.pdf
- [19] 量子産業の創出・発展に。 に向けた推進方策 // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/240409_q_measures.pdf
- [20] 量子技術イノベーション戦略。ロードマップ改訂 04.04.2022 // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/roadmap_220422.pdf
- [21] 量子未来産業創出戦略 // https://www8.cao.go.jp/cstp/ryoshigijutsu/230414_mirai.pdf
- [22] 대한민국 양자과학기술 전략 27.06.2023 // <https://www.msit.go.kr/bbs/view.do?sCode=user&bbsSeqNo=65&nttSeqNo=3017410>
- [23] *Blair A.* How is quantum technology used in the military? Quantum technology is at the forefront of most advanced nations’ long-term defence planning // <https://www.army-technology.com/news/how-is-quantum-technology-used-in-the-military/> – 22.04.2024.

- [24] *Amerongen, van M.* Kvantovye tekhnologii v sfere oborony i bezopasnosti [Quantum technologies in defense and security] // <https://www.nato.int/docu/review/ru/articles/2021/06/03/kvantovye-tehnologii-v-sfere-oborony-i-bezopasnosti/index.html> – 03.06.2021. In Russian.
- [25] *Naujokaitytė G., Burke F.* NATO to launch €1B fund for high tech start-ups in dual use technologies // <https://sciencebusiness.net/news/nato-launch-eu1b-fund-high-tech-start-ups-dual-use-technologies> – 12.04.2022.
- [26] DoD Quantum Programs Set to Take Off ‘Very Soon,’ Official Says // <https://www.meritalk.com/articles/dod-quantum-programs-set-to-take-off-very-soon-official-says/> – 24.09.2024.
- [27] Roadmap for the development of “end-to-end” digital technology “quantum technologies”, 2019 // <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019kvantyi.pdf>
- [28] *Biercuk M.J., Fontaine R.* The Leap into Quantum Technology: A Primer for National Security Professionals // <https://warontherocks.com/2017/11/leap-quantum-technology-primer-national-security-professionals/> – 17.11.2017.
- [29] Quantum Computing Cybersecurity Preparedness Act – Public Law № 117-260, Dec. 21, 2022 // <https://www.congress.gov/bill/117th-congress/house-bill/7535/text>
- [30] *Krelina M.* Quantum technology for military applications // EPJ Quantum Technology. – 2021. – № 8. – Article № 24. – 53 p.
- [31] Korea's National Quantum Strategy, 27.06.2023 / Ministry of Science and ICT // https://quantuminkorea.org/wp-content/uploads/2024/06/Koreas-National-Quantum-Strategy-2023_c.pdf
- [32] Quantum Computing and defence // The Military Balance. 2019 / Edited by the International Institute for Strategic Studies (IISS). – New York: Routledge, 2019. – P. 18–20.
- [33] *Kaku M.* Kvantovoe prevoskhodstvo: revoliutsiia v vychisleniakh, kotoraiia izmenit vse [Quantum supremacy: a revolution in computing that will change everything]. – Moscow: Alpina, 2024. In Russian.
- [34] *Myatt S.* Inside the Quantum-Powered Defense Landscape of the Future // <https://www.govconwire.com/2025/01/future-quantum-defense-applications/> – 14.01.2025.
- [35] *Hughes-Castleberry K.* Quantum Warfare // <https://thequantuminsider.com/2021/08/07/quantum-warfare/> – 07.08.2021.
- [36] Innovative technologies shaping the 2040 battlefield. – Brussels, 2021. – iii; vii; 129 p.
- [37] *Gilesarchive M.* The US and China are in a quantum arms race that will transform warfare: Radar that can spot stealth aircraft and other quantum innovations could give their militaries a strategic edge // <https://www.technologyreview.com/2019/01/03/137969/us-china-quantum-arms-race/> – 03.01.2019.
- [38] *Ponkin I.V.* Voennaia analitika. Voennoe primeneniie iskusstvennogo intellekta i tsify [Military analytics: Military applications of Artificial Intelligence and digital technologies]. – Moscow: Buki Vedi, 2022. – 106 p. https://moscou-ecole.ru/ponkin_milit_ai/ In Russian.
- [39] *Lele A.* Quantum Technologies and Military Strategy. – Cham (Switzerland): Springer Nature Switzerland, 2021. – ix; 182 p.
- [40] «Forget much of what you may have read»: DSTL on quantum computing // https://defence.nridigital.com/global_defence_technology_sep20/dstl_on_quantum_computing
- [41] *Neff J.* Quantum Computing in 2025: The Future of AI and the Race for Quantum Supremacy // <https://therealistjuggernaut.com/2025/02/01/quantum-computing-in-2025-the-future-of-ai-and-the-race-for-quantum-supremacy/> – 01.02.2025.
- [42] UK National Quantum Technologies Programme // <https://uknqt.ukri.org>
- [43] National quantum strategy // <https://www.gov.uk/government/publications/national-quantum-strategy>
- [44] 2024 National Defense Authorization Act (NDAA) // <https://www.congress.gov/bill/118th-congress/house-bill/2670/text>
- [45] National Quantum Initiative Act 2018 – Public Law № 115–368, Dec. 21, 2018 // <https://www.congress.gov/bill/115th-congress/house-bill/6227/text>
- [46] Loi № 2018-607 du 13 juillet 2018 relative à la programmation militaire pour les années 2019 à 2025 et portant diverses dispositions intéressant la défense // <https://www.legifrance.gouv.fr/loda/id/JORFTEXT000037192797>
- [47] Quantum Warfare Market: Global Market Size, Forecast and Trend Highlights Over 2025–2037 // <https://www.researchnester.com/reports/quantum-warfare-market/7115> – 06.02.2025.