

НАУЧНО • ТЕХНИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Серия 1. ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДИКА ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СБОРНИК

Издается с 1961 г.

№ 8

Москва 2021

ОБЩИЙ РАЗДЕЛ

УДК [001.102+002]:001.5

В.А. Жебит

Аспекты новой парадигмы информатики

Дан анализ современной парадигмы информатики и основных научных подходов в определении информации. Приведены обоснования перехода к новой парадигме, отражающей энергетическую суть информационных процессов и их системные признаки. Раскрыты физический смысл феномена информации и ключевая роль наблюдателя как субъекта информационного взаимодействия. Сформулированы базовые положения новой парадигмы информатики.

Ключевые слова: парадигма, информатика, информация, энергия, энтропия, системный, роль наблюдателя, сознание наблюдателя

DOI: 10.36535/0548-0019-2021-08-1

ФИЛОСОФСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ СМЕНЫ ПАРАДИГМ ИНФОРМАТИКИ

Вплоть до XXI века мировая наука пребывала в тени научной идеологии, выставлявшей жесткие условия существования фундаментальных и прикладных исследований. Господство бинарной логики доказательств и логики взаимно-однозначного соответствия явлений

сформировали устойчивый тип мышления, иногда называемый линейным. Трехмерность стала основной моделью, в тисках которой человеческое сознание формировало индивидуальную картину мира.

В качестве философской основы знаний *a priori* был определен материализм, однако соотношение Материи и Сознания продолжало оставаться открытым вопросом, относимым к вечному Основному во-

просу философии (ОВФ) о соотношении Сознания и Бытия [1]. В результате развитие науки происходило в условиях онтологической неразрешенности ОВФ. Такая ситуация неумолимо влекла неопределенность во всем, что развивалось в науке на этой основе. Этой неопределенностью можно было объяснять отсутствие единого понимания таких фундаментальных понятий как Материя, Энергия, Пространство, Время, Сознание, Информация. Можно лишь предположить, что только разрешение ОВФ в ту или иную сторону могло бы позволить обрести устойчивую почву в мирозерцании, найти ключ к истинному содержанию этих понятий.

XX век продолжал ставить новые вопросы, однако их решение осуществлялось с тем же инструментарием, с тех же позиций, отражавших незыблемость «доказательного знания», в парадигме недоказанной первичности материального, и это в конце концов стало тяжелым грузом для науки, уже увидевшей новые горизонты.

События XX века, связанные с реализацией атомного проекта и прорывом человечества в космос, дали толчок опережающему развитию информатики, вычислительной техники и высоких технологий, и совершенно изменили социальную реальность, представшую как невиданное и не предсказуемое информационное общество. Реальность потребовала нового понимания фундаментальных истин, новых идей, новых научных направлений, в частности, специальной науки об информации.

В тот период определения понятия «информация» в целом выглядели следующим образом.

Информация: *informatio* – разъяснение, изложение, осведомление (лат.). Некоторые толкования собирательного характера:

1) Сведения, сообщения о чем-либо, передаваемые людьми;

2) Уменьшаемая, снимаемая неопределенность в результате получения сведений;

3) Передача, отражение разнообразия.

Подобные подходы основывались, как правило, либо на словесной перефразировке, либо на оценках результирующего эффекта, но не самого феномена.

Знаковыми стали определения, которые до сих пор считаются классическими, иллюстрирующими постепенное приближение к истине.

«В самом общем виде понятие «информация» можно было бы определить как объективное содержание связи между взаимодействующими материальными объектами, проявляющееся в изменении состояний этих объектов» (А.И. Михайлов, А.И. Черный, Р.С. Гиллярский. Основы информатики. – М.: Изд-во «Наука», 1968. – С. 55).

«Все попытки дать ей определение остались пока безуспешными. Ясно, по крайней мере, одно: Информация – это не вещь» (У. Эшби. Введение в кибернетику. – М., 1958. – С. 126).

«Информация отличается и от материи, и от энергии». «Как энтропия есть мера дезорганизации, так и передаваемая рядом сигналов информация является мерой организации» (Н. Винер. Кибернетика и общество. – М., 1958. – С. 166).

«Термодинамическая энтропия есть мера недостатка информации» (Л. Бриллюэн. Наука и теория информации. – М., 1960. – С. 11).

«Информация противостоит случайности, хаосу, беспорядку, меру которых в физике называют энтропией» (А. Мень. Кибернетика и религиозное мировоззрение. История религии. – Т. 1, год неизвестен. Приложение).

«Информация не имеет ни веса, ни размеров. Это – прямое следствие нематериальности ее происхождения. Именно поэтому любая, в том числе и наиболее ценная, информация обладает врожденной способностью к неограниченной тиражируемости» (Ю. Затуливетер. Информационная природа социальных перемен. – М., 2001. – С. 24).

Разнообразие часто метафорических определений информации лишь подтверждает необходимость поиска новых научных основ и выхода за рамки прежних представлений.

Сегодня уже считается банальным в рассуждениях об информации обращаться к библейской формуле: «Вначале Было Слово». Это понятие многие уверенно трактовали как: «В Основе Всего Была Информация», не видя того, что в этом скороспелом открытии таится поистине экзистенциальная ошибка. В 1922 г. Х. Тетроде (*Tetrode Hugo Martin*) писал: «Солнце не излучало бы, если бы где-либо не нашлось тела, способного поглотить это излучение...» (цитата по [3]). В этой фразе – парадоксе знаменитого физика заключена фундаментальная идея информатики: *Феномен информации возникает только при наличии воспринимающей стороны.*

Однако здесь присутствует и другая идея – о носителе информации, которая открывает новый аспект, ранее не учитывавшийся в информационных теоретизированиях. Для поиска более глубокого понимания природы информации необходимо определиться с некоторыми понятиями, однако для этого требуется обратиться к проблемному полю естественных наук.

ФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ИНФОРМАЦИИ КАК ФЕНОМЕНА

Энергия: energeia – действие, деятельность (греч.) – единая основа разнообразных форм существования материи. В современной физике оперируют только узким набором форм проявления энергии, рассматривая их в качестве независимых самостоятельных явлений, например, кинетическая энергия, потенциальная энергия, тепловая энергия и т.д., измеряемых в различных единицах. Новое представление об энергии позволит дать не только единое определение, но, вероятно, и новую единицу ее количественного измерения.

Материя во всех формах своего существования является результатом проявления энергии, и все процессы материального мира обусловлены энергетическими взаимодействиями: сильными, слабыми, электромагнитными, гравитационными и еще не открытыми.

В ряде конкурирующих концепций принимается, что в некоторой первичной среде (физический вакуум) смогли сформироваться волновые (вибрационные) процессы, а при определенных условиях возникнуть стоячие волны «солитоны», ставшие основой образования первоматерии. Из таких волновых (вибрационных) сгустков среды сформировались простейшие образования, образно именуемые элементарными частицами, разнообразие и взаимодействие которых породили наблюдаемый и регистрируемый материальный мир – мир различных форм существования энергии.

Например, в физике энергию частицы – фотона – принято выражать следующим образом:

$$E_{\text{ф}} = \hbar \nu ,$$

где: $E_{\text{ф}}$ – энергия фотона,
 ν – частота, Гц,
 \hbar – константа Планка ($\hbar = 6.63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с).

В такого рода концептуализации можно увидеть фундаментальную роль энергии как *продукта, порожденного вибрациями сред*, являющимися первоосновой вещества. Исходя из этого, любые взаимодействия – сильные, слабые, электромагнитные, гравитационные – следует рассматривать как разнообразные формы вибрационного (волнового) обмена энергией.

Вероятнее всего физическая наука в ближайшем будущем откажется от дуалистического представления микромира в пользу его волновой природы, что повлечет глубокий пересмотр многих механизмов физических взаимодействий, в частности, химических реакций и, вероятно, периодической системы элементов, основанной на массовых параметрах.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ОБМЕН КАК НОВЫЙ АСПЕКТ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ИНФОРМАЦИИ

В рассуждениях об условиях возникновения феномена информации необходимо учитывать две категории информационных (энергетических) процессов: субъект-объектные (наблюдательные) и субъект-субъектные (коммуникативные). К первой категории относятся процессы, в которых субъект (наблюдатель) считает энергетический образ объекта и превращает его в информационный образ. Ко второй категории относятся процессы, в которых один субъект (наблюдатель) создаёт энергетический образ, а второй его принимает, т. е. имеет место обычное коммуникативное взаимодействие. Такое разграничение сильно усложняет анализ, неся угрозу переноса его в область психологии. Разрешению этой проблемы способствовало появление *Теории нелинейной коммуникации (ТНК)*, разработанной автором настоящей статьи на рубеже XX – XXI столетий, основанной на представлениях об энергетической природе коммуникации, расширяющей исследовательские рамки через конвергенцию естественно-научных и гуманитарных подходов. ТНК рассматривает материальный мир как пространство всеобщего энергетического обмена, где все процессы такого обмена можно рас-

сматривать как разнообразные формы энергетической коммуникации живой и неживой природы. В процессах такой коммуникации и может проявлять себя феномен информации.

С позиции ТНК информация является одной из форм проявления энергии. Предлагалась авторская трактовка информации как некоторой субстанции, облеченной в некоторую форму: *in-forma-tio* [3]. В качестве такой субстанции выступала энергия. Энергия, облеченная в форму – форматированная (модулированная) энергия – представляла собой информацию. (Следует отметить, что в обиходе иногда информацию целесообразно рассматривать субстантивно, самостоятельно относительно энергии, что существенно упрощает теоретизирование на данном уровне познания).

Следует определиться с вопросом, когда и при каких условиях происходит форматирование (модулирование) энергии. Можно предположить, что мир неживой материи, обмениваясь энергией естественным образом, не нуждается в ее форматировании, и не имеет механизмов для подобных действий. Такие механизмы начинают проявлять себя только в живой природе, среди примитивных организмов, на этапах, когда возникает необходимость обмена сигналами, первоначально в кодах «позитив/негатив», затем более сложных, с целью выбора варианта действия. Эти механизмы можно уверенно связать с появлением материальных форм, готовых к принятию таких сигналов. Однако это всего лишь сигналы, связанные с определенными исполнительными механизмами, первоначально не требующие аналитических действий на низких уровнях развития организмов, идущих по пути постепенного усложнения своих отношений с окружающей средой.

Предположительно, в будущем, в результате перехода к новой парадигме знания, эти представления претерпят радикальные изменения. Существует авторская формулировка, именуемая «законом сохранения информации», смысл ее заключен в утверждении *a priori*: *Информация никуда не исчезает, меняются только ее носители* [4] (т. е. булгаковское «рукописи не горят» имеет под собой определенную основу). Можно внести уточнение в «закон сохранения», сформулировав его как «закон сохранения энергии информации», т. е. *a posteriori*: *Сохранению подлежит не информация, а форматированная энергия, аккумулируемая за счет изменений физического состояния носителей, на микроуровнях*.

Утверждения о возможности самостоятельного существования информации или аккумуляции информации как таковой содержат *фундаментальную* ошибку, поскольку носители сохраняют не информацию, а энергию, благодаря различным физическим состояниям вещества носителей (бумага, звуковые дорожки, магнитные или перфоленты и проч.), или набору состояний физических систем (электронные, квантовые). Во всех случаях передаче информации следует связывать с переводом физического состояния одного носителя в физическое состояние другого. Строго, эти процессы являются не информационными, а чисто физическими, на энергетической основе.

ОЦЕНКА МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ ПОДХОДОВ В ОПРЕДЕЛЕНИИ ИНФОРМАЦИИ

Представляемый в настоящей статье анализ не отвергает большинство из существующих подходов, основанных на субстантивности понятия «информация», и рассматривает их в качестве концептуально совместимых. Общая черта в подходах исследователей, наряду с признанием фундаментальной роли информации, это формулирование лишь её «отраслевого» определения и обоснование на основе форм её существования свойств и результатов влияния. Аспектный характер подобных подходов создает труднопреодолимые барьеры в попытках совместить их концептуально.

Абстрактные подходы. Например, Л. Бриллюэн оценивает это понятие с точки зрения среды возникновения и распространения. Он оперирует двумя типами: «связанная информация» и «свободная информация». Первый тип отражает физические состояния как результат существования информации, второй тип касается абстрактных значений результата [5]. Абстракции, сформулированные Л. Бриллюэном, не подводят исследователей к однозначному определению информации и являют собой попытку представить предмет на основе неполной суммы его отдельных составляющих.

У.Р. Эшби окончательно абстрагирует проблему путем перенесения объекта в пространство теории множеств, где «разнообразие» определенным образом модулируется, приобретая понятие «смысл». Однако данное математическое представление информации не инвертируется в физическое, оставляя решение незавершенным [6].

Знаковым было появление концепций, рассматривающих информацию как некий фактор или «силу», противодействующую беспорядку и хаосу. Это не давало более очевидных представлений, но позволяло перевести понятие «информация» в категорию физических феноменов, открывая пути для дальнейшего углубления в проблематику [7].

В сжатой формулировке А.Д. Урсула «Информация – это отраженное разнообразие» сделана попытка рассмотреть объект, ограничившись сферой феноменологии, не касаясь физического смысла. Это хотя и открывало новые перспективы в понимании, но лишь на основе частной концепции, не претендующей на фундаментальность [8].

Физические подходы. Гораздо ближе к проблеме подступают те, кто ищет физический смысл в информации. По мнению В.М. Глушкова, информация существует только в материальном мире, она отражает степень неоднородности распределения энергии в пространственно-временном континууме [9]. В этом определении информация сближается со своей энергетической сутью, однако полностью теряет субстантивность, будучи переведенной в категорию качественного показателя. Иными словами, информация существует, пока существует неоднородность распределения энергии, в то время как в энергетически изоморфном континууме информации быть не может. Однако остается вопрос о соответствии этой концепции закону сохранения энергии.

Рассмотрение феномена информации в качестве основы взаимодействий объектов микромира (что, с позиции соотношения неоднородностей, равносильно переводу их в категорию субъектов) наталкивается на необходимость перехода от парадигмы корпускулярно-волнового дуализма к парадигме исключительно волновой природы микромира, что справедливо, но фундаментально меняет многие представления в области как естественных наук, так и квантовой механики, в частности [10].

Следует внимательно относиться к рассмотрению взаимодействий объектов макро-мира, таких как планеты, звезды, планетные системы, являющихся взаимодействием полевых структур и излучений, наполняющих физический вакуум. Рассмотрение этих процессов в качестве информационных взаимодействий неизбежно подводит либо к пересмотру определения информации, либо к признанию наличия ментальных свойств у подобных систем.

Особое внимание следует уделить гипотезам, основанным на предположении об информационном характере фундаментальных взаимодействий (сильных, слабых, гравитационных, электромагнитных). В качестве основы такого рода взаимодействий гипотетически утверждается устойчивое соотношение свойств взаимодействующих объектов, допускающие посредством микровоздействий вызывать макроизменения целевого объекта [11]. При этом такие взаимодействия могут зависеть не только от микросвойств взаимодействующих объектов, но и от макросвойств – условий, в которых происходят взаимодействия.

К подобным взаимодействиям относят и механизм самоорганизации открытых систем в различные формы устойчивых пространственно-временных структур [12]. К информационным относят и опосредованные взаимодействия – с участием образов, связанных с объектами [13, 14]. Эти свойства, как правило, присваиваются миру биологических систем, при этом механизмы воспроизводства и наследственности рассматриваются в качестве результата особого рода взаимодействия с образом, как ориентиром для воспроизводимого объекта. Такие образы в некоторых источниках квалифицируются как собственно «информация». В соответствии с этим, такого рода обмен информацией рассматривается как механизм, управляющий физическими взаимодействиями [14, 15]. Следует констатировать, что подмена энергетической природы любых взаимодействий взаимодействиями образов объектов можно считать фундаментальной ошибкой.

Несостоятельность подобного рода позиций особенно выражена при обращении к концепциям, относимым к пространству фундаментальных объектов – миру элементарных частиц. Здесь продолжает господствовать архаическое представление, идущее со времен античности, а именно – рассмотрение объектов микромира в качестве корпускул, находящихся во взаимодействии. Это и обуславливает цепь ложных представлений по поводу природы и механизма таких взаимодействий. Популярная тема квантовой корреляции (спутанности), среди прочих версий по-

лучившая трактовку, основанную на гипотезе информационного взаимодействия квантов, обладает неопределенностью, основанной на том, что информационные процессы принято связывать с конечной скоростью распространения, в то время как сам эффект квантовой корреляции, экспериментально, практически обнуляет параметры «время» и «расстояние» [16, 17]. Принятие таких условий заставляет искать природу квантовой корреляции либо в области пока не известных взаимодействий, либо в существовании некоторой метасистемы, меняющей свое макросостояние при любых микро-изменениях, независимо от пространственно-временной мерности.

Энергетический (авторский) подход. Рассмотрение данной проблематики исключительно сквозь призму энергетической (волновой) природы явлений коренным образом меняет картину микромира и мира в целом. Признание объектов микромира в качестве продукта самоорганизации энергии, подчиняющегося волновым законам, влечет за собой пересмотр фундаментальных взаимодействий с отнесением их к энергетическим взаимодействиям разных уровней. Это станет очевидным, если, например, отказаться от планетарной модели атома Н. Бора и перейти к многоуровневой волновой модели, с ее межуровневыми волновыми (энергетическими) взаимодействиями, и это исключает использование концепций, построенных на информационной основе физического мира.

Следует констатировать *de facto*, что упомянутые позиции могут иметь место только в условиях отсутствия компромисса в определениях понятия «информация». Основываясь на этом, следует заключить, что существующее понятие «информационное взаимодействие» не имеет права на существование и должно быть заменено на утверждение о том, что все виды взаимодействий являются лишь разными формами энергетического обмена, суть энергетическим взаимодействием, а точнее – обменом энергией.

Можно заключить: *Физический мир – это пространство существования и взаимодействий различных форм преобразованной энергии*. Следует также отметить, что такое утверждение не противоречит мнению А. Тьюринга, известному как *принцип инвариантности информации по отношению к физическим свойствам ее носителя* [18].

РОЛЬ НАБЛЮДАТЕЛЯ КАК КЛЮЧЕВОГО ФАКТОРА В РАСКРЫТИИ ФЕНОМЕНА ИНФОРМАЦИИ

A priori понятия «время», «дистанция», «пространство» отнесены к категории феноменов, присущих исключительно материальному, т. е. внешнему миру. Философский подход, заставляет несколько по-иному оценить эти понятия, связав с существованием наблюдателя, что неизбежно обуславливает необходимость некоторой организации наблюдаемых предметов для правильного их восприятия. В связи с этим возникает потребность в учете роли наблюдателя относительно процессов и явлений физического мира.

Квантовая физика, кажется, впервые внесла в эту тему физическое представление о роли наблюдателя, что дает право и основание для рассмотрения любых

процессов в дискурсе информационных феноменов. Однако здесь требуется определенная ясность, что связано с уже существующими представлениями о роли наблюдателя.

Физический наблюдатель обладает собственными системными свойствами, которые соотносятся с системными свойствами наблюдаемых объектов так, что влияют на характеристики наблюдаемого объекта и вносят неизбежные искажения в результаты наблюдений, нарушая чистоту эксперимента, и, фактически, делая любые результаты необъективными. Эти особенности подводят к выводу, что истинное представление о предмете или явлении не будет получено никогда.

Важно принять факт, что наличие подобных свойств не позволит никакими опосредованиями (интерфейсами) исключить взаимовлияние наблюдаемого объекта и физического наблюдателя.

Наблюдатель может быть рассмотрен как «физический» и условно «математический». Условный «математический» наблюдатель – это тот, чье влияние на наблюдаемый объект равно нулю, «физический» наблюдатель обладает неотъемлемыми свойствами – восприятием объекта и влиянием на объект.

Физический наблюдатель и теория Большого взрыва

Исследуемые объекты следует разделять на наблюдаемые и ненаблюдаемые. Первые доступны наблюдению на любом уровне, достижимом с помощью органов чувств и инструментария наблюдателя, вторые недоступны для наблюдения, в силу несовершенства органов восприятия наблюдателя или инструментария наблюдений.

В качестве примера можно рассмотреть теорию Большого взрыва, порожденную гипотезой о «разбегающихся галактиках», основанной на доплеровском «красном смещении». Математически можно легко доказать, что наличие «красного смещения» подтверждает разбегание галактик от некоторого центра. Именно представление о таком центре стало причиной догадок о некоем нулевом событии, напоминающем взрыв материи, находившейся в предельно сжатом состоянии.

Эта модель оказалась крайне удобной, поскольку предлагала точку отсчета событий, фактически, ту архимедову точку опоры, с помощью которой можно укрепить многие научные позиции. Опираясь на эту точку, многие теоретики XX в. обогатили мир новейшими представлениями об устройстве и законах Вселенной. Однако учет роли физического наблюдателя заставляет отнестись к этим концепциям с определенным недоверием.

Физический наблюдатель, помещенный в любую точку пространства Вселенной, будет фиксировать разбегание галактик именно из этой точки, как гипотетического центра Большого взрыва. В любой точке пространства «красное смещение» галактик будет инвариантно по отношению к наблюдателю, что математически не объяснимо. Фактически, центра Большого взрыва не существует, а регистрируемое «красное смещение» является особенностью меха-

низма перцепции физического наблюдателя, в результате чего сама гипотеза Большого взрыва материи становится несостоятельной. Иначе пришлось бы признать, что центром Большого взрыва является телескоп, установленный на планете Земля, например, в обсерватории Аресибо.

Физический наблюдатель способен воспринимать материальный мир с помощью следующего механизма: при появлении того или иного объекта имеющиеся у наблюдателя органы принимают набор сигналов – визуальных, аудиальных, тактильных – об объекте, преобразуют их, затем сравнивают с уже имеющимися шаблонами и формируют информационный образ, встраивая его в индивидуальную картину мира наблюдателя. При необходимости, полученные информационные образы согласовываются с прочими действительными или мнимыми наблюдателями (референтный фактор) [19].

Таким образом, можно говорить о существовании у наблюдателя внешнего энергетического (материального) мира и внутреннего информационного (ментального) мира образов. Наблюдатель не может воспринимать истинный внешний мир, а может воспринимать только мир, сконструированный в его внутреннем (ментальном) пространстве – пространстве сознания [20].

Здесь неизбежен вопрос о том, что несовершенство механизма перцепции физического наблюдателя должно с успехом компенсироваться за счет совершенства физических приборов, и это делает гипотезу «красного смещения» спектра разбегающихся галактик непоколебимой. Однако автором настоящей статьи была выдвинута концепция, способная нарушить многие из существующих представлений, в частности, стройность теории Большого взрыва. Она заключается в следующем.

СУБЪЕКТНОСТЬ КАК ИМПЛИЦИТНЫЙ ФАКТОР ПРОЯВЛЕНИЯ ФЕНОМЕНА ИНФОРМАЦИИ

Субъект-объектный аспект феномена информации

Наблюдатель, наблюдаемый объект и средства наблюдения во всех случаях составляют единую физическую систему, а это означает, если обратиться к логике К. Геделя, что данный наблюдатель не может стать внешним (объективным) наблюдателем относительно данной системы, так как сам является её элементом, т. е. с позиции математической логики, наблюдатель не будет являться субъектом, а перейдет в категорию объекта с соответствующими свойствами. В этой позиции и следует искать причину особых свойств механизма восприятия физического наблюдателя, не позволяющих получить объективную картину события. Эта особенность получила авторское название Парадокс наблюдателя [21], который преодолевается за счет предложенного автором [22] нового представления о механизме формирования информационных образов в сознании наблюдателя. Неучет этих особенностей способен сильно обесценить результаты, получаемые экспериментальным

путем. Таким образом, механизм формирования информационных образов в сознании наблюдателя можно представить в виде процесса, состоящего из следующих фаз:

- 1) получение информации об объекте (*Фаза инициирования*);
- 2) переход в воображаемую надсистемную позицию наблюдения (*Фаза объективизации*);
- 3) конструирование информационного образа (*Креативная фаза*);
- 4) включение информационного образа в индивидуальную информационную картину мира (*Конструктивная фаза*);
- 5) восприятие актуализированной информационной картины мира (*Рефлексивная фаза*).

Учитывая изложенное, можно с уверенностью предположить следующее: *Наличие наблюдателя как субъекта в системе взаимосвязи с любыми наблюдаемыми объектами является условием проявления феномена информации.*

Итак, приведенные обоснования показывают, что рассмотрение процессов и явлений невозможно без учёта участия наблюдателей. «Линейная логика» приводит к парадоксальному выводу, что при отсутствии наблюдателей не может быть ни явлений, ни процессов. Однако эта же логика предполагает, что процессы и явления могут иметь место независимо от физического присутствия наблюдателя. Но это может быть справедливым только в том случае, если признать существование некоторого надсистемного наблюдателя (Абсолюта), являющегося первопричиной и условием движения в материальном мире.

Субъект-субъектный аспект феномена информации

Механизм трансляции информации от наблюдателя наблюдателю, называемый коммуницированием, представляет собой процесс передачи энергии в виде модулированных сигналов – кодированных наборов вибраций, которые декодируются и анализируются принимающей стороной. Цель коммуникационной трансляции информации – изменить состояние и (или) действия принимающей стороны.

Главным условием такого взаимодействия является общая система кодов (язык), т. е. взаимное понимание. Понимание следует рассматривать отдельно, поскольку набор сигналов может быть декодирован, но нуждаться в дополнительной обработке для извлечения смысла. Например, набор известных, но бессвязных слов. Слова, выстроенные в виде законченных структур – предложений – могут также не иметь смысла. Например, «грузите апельсины бочках тчк братья карамазовы» (И. Ильф, Е. Петров). В такого рода процессах важен учёт ряда признаков, определяющих условия трансляции информации.

Атрибутика информационной (энергетической) трансляции

Смысл информации. Это понятие следует разделить на «заложенный» и «извлеченный», что отражает разницу между отправляющей и принимающей сторонами, в силу их индивидуальных свойств.

Например, – На какой почве он свихнулся? – На нашей, датской. (В. Шекспир).

Значимость информации. Это понятие следует разделить на две категории – «энергетическая значимость», обусловленная уровнем энергии, переносимой посланием, и «смысловая значимость», обусловленная содержанием послания. Например, сравнить: «Тревога!» и «Нужно мыть руки перед едой». Первое требует энергетической, умственной концентрации и немедленных физических действий, второе передает сведения, обогащающие набор знаний, но не требующее концентрации и немедленных действий.

Ценность информации. Это понятие связано с тем, насколько значимость послания соответствует системам приоритетов (ценностей) коммуницирующих сторон. Ценность скорее всего будет одинаковой, в случае, если обе стороны придерживаются одной системы ценностей. Однако, ценность может быть одинаковой для обеих сторон, даже если эти системы различаются радикально. Этот факт породил представление об универсальных ценностях. Например, понятия «Мать» и «Родина» обладают очевидной разницей с позиции разных систем ценностей.

Учитывая все изложенное, необходимо внести определенную корректировку в существующие представления об информационных процессах, присущих информационной трансляции.

Для получения четкого представления о возникновении феномена информации, можно выстроить схему, включающую сознание отправителя-коммуникатора, кодер, канал передачи, декодер, сознание получателя-коммуниканта.

Отправитель должен передавать информацию, которая содержится в его сознании, сознанию получателя, на основе кодированной энергии на различных носителях. Используя кодер, отправитель формирует кодовый набор, наделяя его смысловой нагрузкой. Кодовый набор является форматированной энергией, передаваемой по передающим каналам. Кодовый набор проходит через декодер получателя и преобразуется в его сознании, при этом получатель извлекает (или не извлекает) смысл, заложенный отправителем. Именно на этом этапе входа в пространство сознания получателя проявляется феномен информации, т. е. феномен информации возникает, когда одно сознание передает форматированную энергию другому сознанию, и это другое сознание извлекает из нее смысл и на его основе формирует свои образы. При этом смыслы отправляющего и принимающего не обязательно совпадают.

Процесс коммуникативного обмена может стать законченным актом только когда источник и приемник не только обмениваются в единой кодовой, понятийной и контекстной системе, но и делают этот процесс сознательным.

Итак в процессах информационной трансляции феномен информации возникает не потому, что отправляется кодированный набор сигналов, несущих смысловую нагрузку, благодаря сознательным действиям отправителя. Феномен информации возникает только когда в этом процессе появляется участник, или участники, принимающие данный кодовый набор и *извлекающие смысл* из полученных кодов,

преобразуемых в их сознании. В случаях, когда вместо активного отправителя находится пассивный объект – живой или неживой природы – имеет место преобразование наблюдателем энергетического образа в информационный образ с *присвоением* ему смысла. Именно на этом примере утверждается ключевая роль принимающей стороны – наблюдателя – в возникновении феномена информации. Например, лекция по творчеству Шиллера, прочитанная племенными африканскими пигмеев на немецком языке, не будет информацией, а будет восприниматься африканцами как шум. Именно по подобному рода причинам «Вначале было Слово» не следует рассматривать в связке с Информацией.

Важно уточнить – смысл не передаваем, он может закладываться, но не быть извлеченным, или быть извлеченным, но в искаженном виде. Следует добавить также, что смысл может быть *присвоен* в результате работы, производимой в сознании наблюдателя. Например, «Если звёзды зажигают, значит это кому-то нужно» (В. Маяковский). *Смысл не передается, смысл закладывается, извлекается и присваивается.*

Изложенное позволяет сделать ещё один вывод: *Информация возникает только в пространствах сознаний, вне сознаний существует только энергия.*

Информация и киберинтеллект

Неизбежно возникает вопрос об информации в пространстве кибер-интеллекта. Кибер-интеллектуальные системы, не обладающие сознанием, не нуждаются в извлечении смысла кодов сигнала, так как работают исключительно на программных алгоритмах. Коммуницирование в этом случае является простым, бессознательным взаимодействием программ. Отсюда следует вывод, что разница между живыми и неживыми системами заключается в том, что живые могут обмениваться информацией, а неживые системы могут обмениваться только энергией.

Например, на экране компьютера существуют лишь энергетические сигналы, которые преобразуются во внутреннем пространстве сознания наблюдателя в образную картинку. В результате работы механизма восприятия эта внутренняя картинка будет восприниматься наблюдателем как внешняя, существующая на экране компьютера.

Рассмотрение динамических особенностей информационных (энергетических) процессов, с точки зрения присутствия сознания наблюдателя, приводит к неожиданным результатам.

ЭНТРОПИЯ – ОТРАЖЕНИЕ СИСТЕМНЫХ СВОЙСТВ ИНФОРМАЦИИ В СОЗНАНИИ

В физическом эксперименте принято рассматривать сочетание двух неопределенностей:

1) неупорядоченности состояния наблюдаемого объекта как системы, характеризующегося физической энтропией;

2) неупорядоченности информационного образа этой системы в восприятии наблюдателя, характеризующегося информационной энтропией.

Все это в сумме обуславливает неизбежные погрешности в результатах экспериментов.

С авторской точки зрения, здесь оправдан подход, когда феномен информации рассматривается в динамике, что целесообразно рассмотреть с концептуальных позиций К. Шеннона [23]. В свете теории К. Шеннона, информация представляет собой послание, снижающее степень неопределенности состояния некоторой системы. В момент получения этого послания адресатом система становится менее неопределенной. В качестве меры неопределенности (по аналогии с термодинамикой по Больцману) Шеннон вводит понятие информационной энтропии:

$$H = - \sum_{i=1}^N P_i \log P_i,$$

где: H – информационная энтропия;
 P_i – вероятность состояния элементов системы;
 N – число элементов в системе.

Рост энтропии у Шеннона определяется ростом беспорядка в системе, рост информации о системе способствует снижению ее энтропии, пропорциональному количеству информации.

Концепция автора этой статьи выглядит следующим образом.

Утверждение К. Шеннона вступает в противоречие со смыслом при переходе к живым системам, ибо, как было показано выше, феномен информации возникает только в сознании живых систем. В этом случае картина выглядит следующим образом. Отправитель передает получателю сообщение, извлекаемый смысл из которого неизбежно вызывает реакцию, активизирующую получателя как систему. При этом возрастает хаотичность этой системы, что связано с напряжением, обусловленным обработкой информации, оценкой ситуаций, поиском решений, ответной реакцией, т. е. возрастает неопределенность (хаотичность) состояния этой системы, что противоречит утверждению К. Шеннона «до наоборот» и заставляет целиком пересмотреть его определение.

С системной точки зрения можно предположить, что получатель, как живая система, до прихода сообщения находится в состоянии с вероятностью P_1 . Это состояние можно считать квазиравновесным, с энтропией H_1 , отражающей соотношение определенность / неопределенность, или порядок / беспорядок:

$$H_1 = P_1 \log P_1$$

С приходом сообщения получатель, как система, выходит из равновесия, становится более хаотическим, с менее вероятным состоянием P_2 , с энтропией H_2 , по абсолютному значению снизившейся относительно предыдущего уровня:

$$H_2 = P_2 \log P_2.$$

После переработки полученной информации получатель, как система, переходит в новое квазиустойчивое состояние, с вероятностью P_3 и соответствующим значением энтропии:

$$H_3 = P_3 \log P_3.$$

При этом вероятность состояния данной системы снизилась, а значит увеличилась неопределенность. В этом процессе управляющими факторами являются смысл и контекст сообщения.

Как видно, рассмотрение этой задачи с позиции динамики живых систем дает результат, фактически обратный позиции К. Шеннона¹.

Итак, учитывая утверждение о том, что феномен информации возникает только в сознании наблюдателя, можно сформулировать следующее основополагающее определение роли феномена информации.

Появление информации в сознании наблюдателя, как живой системы, увеличивает ее хаотичность (креативность) и, следовательно, снижает вероятность ее состояния, увеличивая неопределенность. Снижение вероятности, в соответствии с формулой для информационной энтропии, снижает энтропию системы. Система становится менее определенной, в результате чего возрастает количество точек выбора (точек бифуркации) в ее существовании, а значит расширяется спектр возможностей в достижении тех или иных целей. Отсюда можно сделать следующий вывод: *Информация является фактором, способствующим росту креативности наблюдателя как системы.*

Новая научная метапарадигма XXI в., предположительно, будет формулироваться так: *все существующее есть энергия.* Это потребует пересмотра основ как естественных, так и гуманитарных и социальных наук, переходя к единым определениям материи, энергии, времени, информации и т.д. [24].

ВЫВОДЫ

1. Информация является феноменом, присущим системам, обладающим сознанием.
2. Сознание посылает семантически организованную энергию другому сознанию, вкладывая в нее смысл. Другое сознание принимает эту энергию, преобразуя ее в информацию, из которой извлекает (или не извлекает) смысл. (Субъект-субъектный аспект).
3. Сознание наблюдателя получает энергетический образ объекта, преобразуя его в информационный образ и присваивает смысл. (Субъект-объектный аспект).
4. Семантически организованная энергия, из которой не извлекается смысл, в информацию не преобразуется, оставаясь энергетическим (информационным) шумом.
5. Информация существует только в пространстве сознания, вне этого пространства существует только энергия, исчезновение сознания обуславливает перевод информации на другие носители.
6. Информация не передается и не накапливается, передается и хранится только энергия в форме разно-

¹ Жебит В. А., Жебит Е. В. О феномене социальной коммуникации с точки зрения энтропии системных процессов // Социальная политика и социология. – 2012. – №8. – С.264-271; Жебит В. А. Энтропия как аспект концептуализации «порядок — хаос» в философской интерпретации воли // Экономические и социально-гуманитарные исследования. ИПК МИЭТ. – 2018. – №1(17). – С. 76–83.

образных физических состояний или полевых структур материалов носителей.

7. Новая парадигма информатики должна быть основана на принципе взаимообусловленности информации и сознания.

8. В рамках новой парадигмы информатики любой аналитический алгоритм должен учитывать субъектную роль наблюдателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энгельс Ф. Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии // К. Маркс, Ф. Энгельс. Собр. соч., изд. 2, т. 21. – М.: Государственное изд-во политической литературы, 1961 – С. 283.
2. Tetrode H. Über den Wirkungszusammenhang der Welt. Eine Erweiterung der klassischen Dynamik // Zeitschrift für Physik. – 1922. – Vol.10. – P. 317-328.
3. Жебит В.А. Теория нелинейной коммуникации. Истоки-Аспекты-Аксиомы. – Saarbrücken, Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2010. – 265 с. (рус.)
4. Жебит В.А. Энергетический мир человеческого сознания. – Москва: Изд-во «Спутник+», 2014, – 230 с.
5. Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. – Москва: Книжный дом «Либроком», 2019. – 272 с.
6. Эшби У.Р. Введение в кибернетику. – Москва: КомКнига, 2006. – 432 с.
7. Берг А.И., Спиркин А.Г. Кибернетика и диалектико-материалистическая философия // Проблемы философии и методологии современного естествознания. – Москва: Наука, 1973. – С. 139-146.
8. Урсул А.Д. Отражение и информация. – Москва: Мысль, 1973. – 231 с.
9. Глушков В.М. О кибернетике как науке // Кибернетика, мышление, жизнь. – Москва: Мысль, 1964. – С. 53-62.
10. Гуревич И.М. О физической информатике: предпосылки и основные результаты. – Москва: ЛЕНАНД, 2014. – 160 с.
11. ISO/IEC/IEEE 24765:2010. Systems and software engineering. Vocabulary. – URL: <http://www.cse.msu.edu/cse435/Handouts/Standards/IEEE24765.pdf>
12. Хакен Г. Информация и самоорганизация. Макроскопический подход к сложным системам. – Москва: КомКнига, 2005. – 248 с.
13. Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. – Москва: Едиториал УРСС, 2003. – 240 с.
14. Чернавский Д.С. Синергетика и информация (динамическая теория информации). – Москва: Едиториал УРСС, 2004. – 288 с.
15. Гладких Н.Г. Динамические информационные процессы // Системы и средства информатики. – 2011. – Вып. 11. – С. 341-362.
16. Einstein A., Podolsky B., Rosen N. Can quantum-mechanical description of physical reality be considered complete? // Physical Review. – 1935. – Vol.47, Iss. 10. – P. 777-780.
17. Татур В.Ю. Тайны нового мышления. – М.: Изд-во «Прогресс», 1990. – 199 с.
18. Тьюринг А.М. Вычислительные машины и разум // В сб.: Хофштадер Д., Деннет Д. Глаз разума. – Самара: Бахрах-М, 2003. – С. 47-59.
19. Жебит В.А. «Несколько постулатов к вопросу о факторе наблюдателя при осуществлении космических пилотируемых миссий» // Доклад на Международной конференции «Пилотируемое освоение космоса» (Секция SECTION 3-B: CREW TRAINING), 25-26 мая 2016 г., г. Королев. – С. 146-148. – URL: <http://iaaweb.org/iaa/Scientific%20Activity/hse16abstracts.pdf>.
20. Жебит В.А. Три теоремы об образе как продукте неравновесного сознания. Социальная политика и социология // Междисциплинарный научно-практический журнал РГСУ. – 2012. – №8. – С. 259-263.
21. Жебит В.А. Гипотеза о ключевом парадоксе сознания и поиск ее подтверждения с помощью логики Геделя // Ученые записки РГСУ. – 2013. – №1(112). – С.72-76.
22. Жебит В.А. «Квантовый коллапс» – Механизм рождения образов в человеческом сознании // Ученые записки РГСУ. – 2015. – Т. 14, №3(130). – С. 79-87.
23. Шеннон К. Работы по теории информации и кибернетике. – М.: Изд. Иностран. лит., 1963. – 830 с.
24. Жебит В.А. К новой парадигме знания // Материалы международной научно-практической конференции "Глобальные угрозы развитию цивилизации в XXI веке", VII Декартовские чтения (11 марта 2021 г., Москва – Зеленоград). Часть 3. – Москва: ИПК МИЭТ, 2021. – С. 62-67.

Материал поступил в редакцию 21.05.21.

Сведения об авторе

ЖЕБИТ Владимир Александрович – кандидат психологических наук, старший научный сотрудник ВИНТИ РАН, Москва.
e-mail: zhebit@rambler.ru

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННОЙ РАБОТЫ

УДК 002.63ВИНИТИ:[001.83+001.89](1–6 СНГ)

С.М. Гоннова, Е.Ю. Разуваева

Сотрудничество стран СНГ в научной и научно-технической инновационной сфере*

Представлены результаты научных исследований и практических мероприятий ВИНТИ РАН в статусе Базовой организации государств – участников СНГ по межгосударственному обмену научно-технической информацией. Освещена международная деятельность по информационной поддержке сотрудничества, направленного на формирование совместного научно-технического инновационного пространства, на интеграцию информационных ресурсов национальных центров НТИ Содружества независимых государств. Отмечена роль МКСНТИ по координации государств – участников СНГ в области обмена НТИ.

Ключевые слова: Содружество независимых государств, научные исследования, инновации, научно-техническая информация, информационные ресурсы, межгосударственный обмен, Базовая организация СНГ

DOI: 10.36535/0548-0019-2021-08-2

Содружество независимых государств прошло сложный путь становления и развития и бесспорно является механизмом по сближению позиций и выработке взаимоприемлемых решений по ключевым вопросам экономики и политики, в том числе в научно-технологической инновационной сфере его участников.

Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук ВИНТИ РАН (далее – Институт) в статусе Базовой организации государств – участников Содружества независимых государств по межгосударственному обмену научно-технической информацией (далее – Базовая организация СНГ) выполняет научные исследования, направленные на реализацию основополагающих действующих документов Экономического совета СНГ и организует научно-практические мероприятия по межгосударственному обмену научно-технической информацией.

Ежегодно ВИНТИ РАН проводит научно-исследовательские работы и отчитывается об их выполнении в соответствии с темами государственных заказов: «Формирование системы межгосударственного обмена научно-технической информацией государств – участников СНГ» (2019-2021 гг., Минобрнауки России); «Формирование принципов межгосударственного обмена научно-технической информацией» (2016-2018 гг.,

Минобрнауки России); «Реализация научно-практических мероприятий на базе ВИНТИ РАН по межгосударственному обмену научно-технической информацией» (2010-2015 гг., ФАНО России, Президиум РАН).

Одним из значимых результатов выполнения научных работ при постоянном взаимодействии ВИНТИ РАН с Межгосударственным координационным советом по научно-технической информации (МКСНТИ) и национальными Центрами научно-технической информации (ЦНТИ) государств – участников СНГ является ряд разработанных, продвинутых к утверждению нормативно-методических документов, принятых Советом глав правительств СНГ, в которых определены приоритетные направления деятельности по межгосударственному обмену научно-технической информацией и сформулированы согласованные решения по вопросам совместного использования информационных ресурсов:

- Соглашение о сотрудничестве в сфере межгосударственного обмена научно-технической информацией от 30 мая 2014 г. Решение СГП СНГ. Интернет – портал СНГ. – URL: <http://www.cis.minsk.by/reestr/ru/index.html#reestr/view/=4907>. (Дата обращения 20.01.2020);

- Соглашение о создании информационной инфраструктуры инновационной деятельности государств – участников СНГ в форме распределенной информационной системы и портала СНГ «Инфор-

* Работа выполнена в рамках государственного задания ВИНТИ РАН по теме № 0003-2019-0004.

мация для инновационной деятельности государств – участников СНГ» от 19 мая 2011 г. Решение СГП СНГ. Информационно – правовой портал ГАРАНТ РУ. – URL: <http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71609216> (дата обращения 20.01.2021);

- «О Межгосударственной программе инновационного сотрудничества государств – участников СНГ на период до 2020 года» от 18 декабря 2011 г. Решение СГП СНГ и Решение Экономического совета СНГ с изменениями от 18 марта 2016 г. Интернет – портал СНГ. – URL: <https://e-cis.info/cooperation/3119>. (Дата обращения 20.01.2021);

- Концепция научно-информационного обеспечения программ и проектов государств – участников СНГ в инновационной сфере от 13 марта 2009 г. Решение Экономического совета СНГ. Интернет – портал СНГ. – URL: <https://e-cis.info/cooperation/22467>. (Дата обращения 20.01.2021);

- Концепция формирования и развития межгосударственной системы подготовки, профессиональной переподготовки и повышения квалификации кадров в сфере научно-технической информации от 20 ноября 2013 г. Решение СГП СНГ. Интернет – портал СНГ. – URL: <https://e-cis.info/cooperation/22467> (дата обращения 20.01.2021).

Разработка этих документов демонстрирует преемственность, логическую последовательность, динамику развития научно-исследовательской тематики информационного обмена ресурсами в научно-технической сфере между государствами – участниками СНГ.

Кроме разработки и продвижения концептуальных документов, ВИНТИ РАН как Базовая организация СНГ реализует утвержденные решения в соответствии с основными действующими документами международного сотрудничества в сфере обмена научно-технической информацией.

Начиная с 2007 г., Институт дополнительно выполнил научные исследования, связанные с развитием и совершенствованием обмена НТИ между национальными системами научно-технической информации государств – участников Содружества по 11 темам НИР:

- Сопоставление ГРНТИ с другими классификационными системами с целью совершенствования системы тематической кодификации НИР, НИОКР гражданского назначения. Формирование системы соответствий между различными классификаторами в сфере научно-технической информации;

- Разработка и реализация комплексной программы Базовой организации государств – участников СНГ по межгосударственному обмену первоисточниками и научно-технической информацией для стимулирования развития международных интеграционных процессов в сфере науки и образования в целях содействия формированию устойчивых кооперационных связей российских и иностранных научно-исследовательских, образовательных организаций, формирования совместного общего пространства инновационного развития России и СНГ;

- Научно-методическое и организационно-техническое обеспечение проведения международной научно-технической конференции «Информационное общество: состояние и тенденции межгосударствен-

ного обмена научно-технической информацией в СНГ», посвященной 20-летию образования СНГ;

- Методическое и организационно-техническое обеспечение проведения 19-го заседания МКСНТИ с участием полномочных представителей государств – участников СНГ;

- Научно-методическое и организационно-техническое обеспечение проведения 18-го заседания Межгосударственного координационного совета по научно-технической информации;

- Научно-методическое и организационно-техническое обеспечение проведения 17-го заседания Межгосударственного координационного совета по научно-технической информации;

- Научно-методическое и организационно-техническое обеспечение проведения 16-го заседания Межгосударственного координационного совета по научно-технической информации;

- Обеспечение доступа участников национальной нанотехнологической сети к электронным источникам научно-технической информации, необходимой для проведения исследований и разработок в области нанотехнологий;

- Разработка комплекса мероприятий по развитию информационной инфраструктуры национальной инновационной системы на базе Государственной системы научно-технической информации;

- Совершенствование информационной структуры инновационной интеграции государств – участников СНГ в рамках Международной научно-технической конференции «Научно-техническая информация-2007»;

- Развитие системы информационной поддержки инновационной интеграции государств – участников СНГ.

В исследованиях по определению новых организационных форм сотрудничества были заложены основы концептуальных документов и соглашений, направленных на повышение технологического уровня и конкурентоспособности производства на базе научных достижений, обеспечение выхода инновационной продукции на внутренний и внешний рынки стран СНГ, поддержку научных связей, сохранение единых принципов развития научной деятельности.

При разработке этих документов был использован полезный опыт Государственной системы научно-технической информации СССР (ГСНТИ), а также созданных в то время республиканских, отраслевых и межотраслевых Центров научно-технической информации, которые после адаптации к современным условиям продолжают взаимодействовать по информационной поддержке научной и инновационной деятельности в государствах – участниках СНГ.

В придании ВИНТИ РАН статуса Базовой организации СНГ важными факторами стали результаты большого объема НИР по тематике СНГ в рамках выполнения государственных заказов, государственных контрактов, соглашений, заключенных с Президиумом РАН и Минобрнауки России. Главная заслуга в создании Базовой организации СНГ принадлежит заместителю директора ВИНТИ РАН по научной работе, доктору биологических наук, полномочному предста-

вителью Российской Федерации на пятнадцатом, шестнадцатом, семнадцатом и восемнадцатом заседаниях Межгосударственного координационного совета по научно-технической информации, руководителю Рабочей группы при председателе МКСНТИ Людмиле Федоровне Борисовой и коллективу сотрудников Отделения инноваций и ориентированных научно-информационных исследований ВИНТИ РАН.

В настоящее время в рамках государственного заказа НИР: «Формирование системы межгосударственного обмена научно-технической информацией государств – участников СНГ» (2019-2021 гг. Минобрнауки России) Институт выполнил научные исследования:

развитие Государственной системы научной и технической информации Российской Федерации, Республики Беларусь;

анализ состояния сферы научно-технической информации в отдельных государствах – Республике Казахстан, Кыргызской Республике, Российской Федерации;

исследование национальных систем НТИ государств – участников СНГ,

обзор основных действующих документов и участников международного сотрудничества в научной, научно-технической инновационной сфере СНГ.

Была осуществлена подготовка аналитических материалов и документов к заседаниям органов Исполкома СНГ, опубликованы научные статьи по результатам этих работ. Научная новизна выполненных исследований состоит в том, что впервые изучено современное состояние национальных систем НТИ Содружества в категориях: нормативно-правовая база; модель государственного управления; инфраструктура, основные ресурсы и участники международного сотрудничества государств – участников СНГ.

Научная новизна темы НИР: «Формирование системы межгосударственного обмена научно-технической информацией государств – участников СНГ» заключается в формировании и реализации методологии государственного подхода к развитию научно-технического сотрудничества со странами СНГ, поиске путей наиболее эффективного выполнения международных соглашений в рамках решений Содружества, направленных на формирование совместного научно-технического инновационного пространства, интеграцию информационных ресурсов национальных центров НТИ, уточнение принципов, методов и инструментов межгосударственного обмена НТИ. Работа по этой теме НИР соответствует приоритетным направлениям Стратегии научно-технологического развития Российской Федерации и направлена на формирование эффективной межгосударственной системы научно-технической информации, её интеграцию в мировое информационное пространство и содействие созданию рынка информационных продуктов и услуг.

К 30-летию создания Содружества независимых государств ВИНТИ РАН как Базовая организация государств–участников СНГ по межгосударственному обмену научно-технической информацией подводит итоги своей деятельности и представляет:

• 14 ежегодных отчетов о выполнении НИР, содержащих основные теоретические и эксперимен-

тальные результаты по темам государственных заказов Минобрнауки России, ФАНО России, Президиума РАН (2007 – 2021 гг.), касающихся вопросов СНГ;

• 28 отчетов о выполнении НИР по 11-ти дополнительно заключенным госконтрактам и соглашениям с Минобрнауки России и Президиумом РАН по тематике СНГ;

• материалы двадцать одной заявки по тематике СНГ, подготовленные и направленные в Минобрнауки России для участия в конкурсах федеральных целевых программ «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2013 год» и «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2014-2020 год»;

• Комплексную программу Базовой организации государств – участников СНГ по межгосударственному обмену НТИ;

• участие и подготовку материалов для 13-ти заседаний МКСНТИ, Экономического совета СНГ, в том числе научно-методическое и организационно-техническое обеспечение проведения шести заседаний МКСНТИ;

• постоянное взаимодействие с национальными ЦНТИ: рассмотрение, анализ предложений государств–участников СНГ по дальнейшему развитию национальных информационных систем;

• участие в разработке ряда основополагающих документов, принятых Советом глав правительств СНГ;

• подготовку 10 аналитических обзоров для сборников Исполнительного комитета СНГ;

• организацию 7-ми международных конференций в области НТИ, в том числе 12-ти семинаров по повышению квалификации кадров в сфере НТИ для представителей государств – участников СНГ;

• участие в работе более 30-ти международных конференций в области НТИ;

• работу по созданию и совершенствованию интернет-портала СНГ по международному обмену НТИ «Информация для инновационной деятельности государств – участников СНГ» (интернет-портал СНГ) [1];

• разработку и сопровождение сайта МКСНТИ [2].

Как Базовая организация государств – участников СНГ по межгосударственному обмену научно-технической информацией ВИНТИ РАН продолжает работу по подготовке, распространению и использованию информационных ресурсов на пространстве Содружества, осуществляет подписку организаций государств–участников СНГ на Реферативный журнал и базы данных ВИНТИ РАН, обмен первоисточниками – периодическими изданиями государств – участников СНГ, а также обеспечивает доступ как к традиционным источникам в печатном виде, так и к их электронным аналогам (в том числе к электронным изданиям (ЭИ) и базам данных (БД), предоставляемым в локальном режиме).

Имея государственные информационные ресурсы, ВИНТИ РАН представляет их в Электронном каталоге, в котором хранятся полные сведения о результатах регистрации входного потока научно-технической литературы в Институте: статьях, книгах, depo-

нированных рукописях, авторефератах и диссертациях, нормативных и патентных документах, а также организациях, персоналиях, рубриках ГРНТИ, описаниях выпусков сериальных изданий. В фондах Института хранятся опубликованные научные издания всех видов (периодические и продолжающиеся, сборники статей, материалы научных мероприятий, монографии, учебники для вузов, депонированные работы, авторефераты диссертаций и др.), а также периодические издания из фондов других библиотек (БЕН РАН, ГПНТБ России и др.), электронные зарубежные и российские периодические издания, доступные ВИНТИ РАН на платформах издательства и владельцев электронных ресурсов и т.д. В Электронном каталоге Института зафиксировано более 1,5 млн документов доступных по цифровому идентификатору DOI.

На постоянной основе Базовая организация СНГ выполняет подготовку материалов, посвященных проблемам межгосударственного обмена НТИ, для публикации в издаваемых ею или при ее участии научных журналах. Так, ВИНТИ РАН выпускает издания обзорного типа, информационные бюллетени, журналы «Научно-техническая информация. Серия 1. Организация и методика информационной работы», «Научно-техническая информация. Серия 2. Информационные процессы и системы», «Международный форум по информации», «Экономическая наука современной России», «Интегрированная логистика», «Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций», «Проблемы безопасности полетов», «Транспорт: наука, техника, управление», «Экономика природопользования», реферативный сборник «Экономия энергии» и другие. Шесть из этих изданий включены в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты соискателей ученых степеней доктора и кандидата наук.

Обмен научно-технической литературы (НТЛ) в бумажном и электронном виде ВИНТИ РАН, как Базовая организация государств – участников СНГ, проводит в рамках реализации Соглашения о сотрудничестве в сфере межгосударственного обмена научно-технической информацией

Институт выполняет поиск, отбор и обработку материалов для опубликования в научном журнале «Международный форум по информации» с целью последующего их размещения на интернет-портале СНГ [1]. Этот журнал (периодичность – 4 номера в год) предназначен для обсуждения важных проблем информационной теории и практики, интересующих широкий круг специалистов разных стран. В нем освещаются следующие темы: информационная политика; научная коммуникация; тенденции развития форм представления и распространения информации (мультимедиа и гипермедиа); прогнозирование развития и использования информационных систем, служб и сетей (международных, региональных, национальных); разработка и эксплуатация баз данных; теоретические основы информатики; классификации и информационные языки; информационные потребности; подготовка информационных работников; обучение потребителей информации; библио-

метрия, ценность информации и ее качество. Журнал публикует оригинальные и переводные статьи, материалы конгрессов и конференций, рецензии на книги, персоналии, краткие сообщения, письма, рекламные объявления. ВИНТИ РАН заинтересован в сотрудничестве с учеными и специалистами государств – участников СНГ и приглашает их размещать в журнале публикации, посвященные проблемам межгосударственного обмена научно-технической информацией.

Важный результат научно-исследовательской работы ВИНТИ РАН как Базовой организации государств-участников Содружества независимых государств по межгосударственному обмену научно-технической информацией – это 76 научных статей сотрудников Института по тематике СНГ, половина из которых опубликована в журналах, индексируемых в базах данных Scopus и Web of Science. Научная новизна этих статей отражает результаты выполненных научных исследований, а также сформулированные предложения по повышению эффективности межгосударственного обмена научно-технической информацией государств – участников СНГ.

Кроме того, в период пандемии ВИНТИ РАН, осуществляя информационное обеспечение в области фундаментальной и прикладной науки и техники, оперативно провел анализ массива научных документов по проблеме, включающей биологические, химические, медицинские аспекты и социально-экономические последствия коронавирусной инфекции COVID-19. В 2020 г. было издано два междисциплинарных специальных выпуска информационно-аналитического сборника: «Пандемия COVID-19. Биология и экономика» [3] и «Пандемия COVID-19. Химия и экономика» [4].

Особое внимание в настоящее время ВИНТИ РАН уделяет ведению интернет-портала по международному обмену НТИ «Информация для инновационной деятельности государств – участников СНГ» [1] с использованием системы порталов национальных ресурсов в соответствии с законодательством своих государств. Интернет-портал СНГ создан ВИНТИ РАН совместно с ЦНТИ Республики Армения, Республики Беларусь, Республики Казахстан, Кыргызской Республики, Республики Молдова и Республики Таджикистан на основании международных документов сотрудничества в сфере межгосударственного обмена научно-технической информацией. Интернет-портал СНГ предоставляет доступ к различным видам информационных ресурсов. Базовая организация СНГ проводит работу по обеспечению функционирования и совершенствованию интернет-портала по межгосударственному обмену НТИ.

Основная цель интернет-портала СНГ – обеспечение необходимой информацией и аналитическими данными участников инновационной деятельности государств – участников СНГ на всех этапах разработки и продвижения инновационных продуктов и технологий.

Задачи интернет-портала СНГ:

- создание совместной электронной площадки государств-участников СНГ, интегрирующей информацию о ресурсах и сервисах в научно-технической, инновационной и образовательной сферах;

- информационное взаимодействие научного сообщества с представителями государственной власти, бизнеса, образовательных учреждений;
- развитие информационного сопровождения межгосударственного обмена в области научно-технической информации.

Поддерживая интернет-портал СНГ, ВИНТИ РАН осуществляет сбор, обработку, хранение, представление научных, научно-технических инновационных ресурсов и способствует развитию научной деятельности, уточнению терминологии, определению индикаторов инновационной деятельности в научно-технической сфере, а также формированию целевых групп пользователей.

Интернет-портал СНГ является уникальным по структуре содержательной части, по представленным национальным информационным ресурсам Республики Беларусь, Республики Молдова, Республики Казахстан, Республики Таджикистан, Российской Федерации, Республики Армения, Республики Узбекистан, Кыргызской Республики.

Реализация основных международных документов сотрудничества в сфере межгосударственного обмена научно-технической информацией направлена на решение проблемы интеграции национальных систем НТИ государств-участников СНГ в международное информационное пространство.

Область применения результатов НИР, полученных ВИНТИ РАН, – это международные отношения Российской Федерации по развитию научно-технического сотрудничества со странами СНГ, поиск и реализация путей наиболее эффективного выполнения соглашений в рамках СНГ, решений Совета глав государств и Совета глав правительств Содружества, направленных на формирование совместного научно-технического инновационного пространства, интеграцию информационных ресурсов национальных ЦНТИ, что вносит существенный вклад в развитие международного сотрудничества СНГ и имеют международную значимость.

ВИНТИ РАН активно участвовал в выполнении Плана мероприятий по реализации третьего этапа (2016–2020 годы) Стратегии экономического развития Содружества независимых государств на период до 2020 года.

По итогам ежегодных заседаний МКСНТИ, регулярно представляя на них доклады «О деятельности базовой организации государств-участников СНГ по межгосударственному обмену НТИ» и «О состоянии портала СНГ Информация для инновационной деятельности государств-участников СНГ» ВИНТИ РАН всегда получал одобрение и положительную оценку членов Межгосударственного совета. Базовая организация СНГ в рамках выполнения темы НИР по государственному заданию принимает активное участие в подготовке аналитических документов, протокольных решений, а также обеспечивает ведение сайта МКСНТИ [2]. Последние заседания МКСНТИ позволили обратить внимание государственных органов на проблему совершенствования национальных систем научно-технической информации и способствовали развитию инновационной деятельности и использованию международного опыта государств-

членов СНГ. Члены МКСНТИ регулярно информируют друг друга об основных национальных мероприятиях в сфере научно-технической информации, ученые и специалисты имеют возможность представить на них свои доклады и информационные материалы.

Таким образом, в соответствии с возложенными на него задачами, ВИНТИ РАН активно участвует в международной деятельности Российской Федерации по развитию научно-технического сотрудничества с государствами-участниками Содружества независимых государств по укреплению интеграционных процессов в рамках СНГ. Вместе с МКСНТИ, с национальными центрами НТИ, ВИНТИ РАН участвует в совершенствовании обмена научно-технической информацией, развитии информационного и инновационного общего научно-технологического пространства Содружества.

Анализ деятельности ВИНТИ РАН с момента получения статуса Базовой организации СНГ показывает, что поставленные в определенные периоды времени задачи в основном выполнены. Однако современная международная обстановка, трансформация национальных экономик Содружества требуют развития отраслевого и межотраслевого сотрудничества и значительного повышения эффективности информационного сопровождения научно-технической инновационной деятельности и обмена ресурсами между государствами – участниками СНГ.

Акцентированное внимание исследователей Института направлено на изучение различных факторов влияния на систему межгосударственного обмена научно-технической информацией государств – участников СНГ, развитие интеграционного взаимодействия на постсоветском пространстве.

Уделяя основное внимание развитию фундаментальных исследований в области информатики и информационных технологий в рамках государственных заданий, Институт активно осуществляет практическую деятельность, работая в тесном контакте с МКСНТИ, национальными центрами НТИ государств-участников СНГ в рамках реализации утвержденных новых концептуальных документов: Стратегии экономического развития СНГ на период до 2030 года¹, Межгосударственной программы инновационного сотрудничества государств-участников СНГ до 2030 года² а также Концепции международного научно-технического сотрудничества Российской Федерации³. Это позволит достичь значимых научных и

¹ Стратегия экономического развития СНГ на период до 2030 года. Решение Совета глав правительств СНГ от 29 мая 2020 года - URL: <https://e-cis.info/page/3762/>. (Дата обращения 24.01.2021 г.)

² Межгосударственная программа инновационного сотрудничества государств-участников СНГ до 2030 года. Решение Совета глав правительств СНГ от 6 ноября 2020 года - URL: <https://e-cis.info/page/3372/90802/>. (Дата обращения 24.01.2021 г.)

³ Концепция международного научно-технического сотрудничества Российской Федерации. 8 февраля 2019 года № ТГ-П8-952 - URL: <https://minobrnauki.gov.ru/about/deps/dms/mntsii/>. (Дата обращения 22.01.2021 г.)

практических результатов, направленных на формирование совместного научно-технического инновационного пространства, интеграцию информационных ресурсов национальных центров НТИ Содружества независимых государств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Интернет-портал СНГ по международному обмену НТИ «Информация для инновационной деятельности государств-участников СНГ». – URL: [http:// www.sng.viniti.ru/](http://www.sng.viniti.ru/). (Дата обращения 16.01.2021 г.)
2. Официальный сайт исполнительного комитета СНГ Межгосударственного координационного совета по научно-технической информации (МКСНТИ). – URL: [https:// www.mksnti.ru](https://www.mksnti.ru) (дата обращения 16.01.2021 г.)
3. «Пандемия COVID-19. Биология и экономика». Междисциплинарный специальный выпуск ин-

- формационно-аналитического сборника. – URL: <http://www.viniti.ru/> (дата обращения 20.01.2021 г.)
4. «Пандемия COVID-19. Химия и экономика» Междисциплинарный специальный выпуск информационно-аналитического сборника. – URL: <http://www.viniti.ru/> (дата обращения 20.01.2021 г.)

Материал поступил в редакцию 26.01.21.

Сведения об авторах

ГОННОВА Светлана Михайловна – начальник отдела инноваций и перспективных разработок ВИНТИ РАН
e-mail: gonnova@viniti.ru; s.gonnova@mail.ru

РАЗУВАЕВА Елена Юрьевна – главный специалист отдела инноваций и перспективных разработок ВИНТИ РАН
e-mail: razuvaeva@viniti.ru

И.Н. Федоренко

Цифровые информационные решения в электронном обучении

Рассматриваются вопросы продвижения электронного обучения в эпоху цифровизации. Обосновано, что активное внедрение цифровых технологий является одним из важных условий цифровизации образования. Показано современное состояние рынка пользователей сети Интернет, фиксированного широкополосного доступа к нему в Российской Федерации и обозначены проблемы развития электронных образовательных ресурсов. Проведен опрос студенческой аудитории, нацеленный на оценку уровня цифровизации и выявления ключевых компетенций для работы в условиях цифровой экономики, где важную роль играет цифровая трансформация образования.

Ключевые слова: электронное обучение, цифровизация образования, интернет-технолог, дистанционные технологии

DOI: 10.36535/0548-0019-2021-08-3

ВВЕДЕНИЕ

Российская система высшего образования приняла вызов современности и активно, профессионально слилась с процессом цифровизации. Интенсивность внедрения цифровых технологий зависит от многих факторов – в городах, например, вполне успешно, в отдаленных сельских регионах России с большими трудностями [1]. Эти положения определяют актуальность изучения проблем доступности Интернета и цифровых устройств, преодоления неравенства между городским и сельским населением в получении высшего образования, в том числе посредством электронного обучения.

Цель настоящей статьи – теоретическое обоснование потребностей образовательного процесса в цифровых технологиях и выявление готовности населения к продвижению электронного обучения. Задачи исследования предполагают:

- выявление доступности информационно-цифровых возможностей для населения;
- анализ отечественного рынка использования интернет-технологий с выявлением условий для сельского и городского населения;
- рассмотрение угроз информационной безопасности и факторов, сдерживающих распространение сети Интернет на сельское и городское население;
- определение роли цифровых технологий в получении образования в электронном формате и наиболее популярных электронных образовательных платформ и ресурсов среди студенческой целевой аудитории.

ИНФОРМАЦИОННО-ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ КАК ОСНОВА ЭЛЕКТРОННОГО ОБУЧЕНИЯ

В настоящее время началось активное внедрение цифровых технологий в социально-экономическую жизнь общества.

Чтобы достичь обозначенные цели и выполнить задачи, поставленные государством перед регионами, необходимо активно стимулировать переход на цифровизацию образовательного процесса.

Цифровизация является необходимым вектором развития и должна отвечать следующим принципам:

- компьютеризация – основные учебные процессы должны быть оснащены современным оборудованием для цифрового управления;
- коннективность (сетевое взаимодействие) – объединение цифровых технологий в общую среду, соответствующую требованиям вузов;
- видимость (обозримость) – проведение учебных занятий в режиме реального времени и создание цифрового отображения или виртуального моделирования решений.

Изложенные принципы являются основой цифровизации, без их соблюдения невозможен полноценный переход к интернет-продвижению образовательных услуг.

Студенты должны получать ключевые компетенции для работы в условиях цифровой экономики, и важную роль в этом играет цифровая трансформация образования. Электронное образование становится надежной платформой в процессе развития сетевых форм взаимодействия коммерческих компаний с вузами. Информационный рынок занимает все большее

место в сфере бизнеса. Правительство страны серьезно настроено на цифровую трансформацию экономики. Об этом свидетельствует тот факт, что в рамках национального проекта «Цифровая экономика» на цифровизацию предполагается потратить 451,8 млрд рублей.

Планируется, что внедрение цифровых технологий позволит повысить показатель производительности предприятий на 45-55%, а также на 20-50% уменьшит сроки выхода продукта на рынок. Аналитики *McKinsey Global Institute* прогнозируют, что государственные вложения в цифровые технологии только в производственном секторе приведут к ежегодному росту объемов ВВП страны на сумму от 1,3 трлн до 4,1 трлн руб. [2]. Цифровизация производства дает ряд существенных преимуществ:

- улучшение качества производимой продукции и снижение количества брака;
- рост производительности труда;
- сокращение запасов на производственных складах;
- увеличение доли экспорта продукции.

По данным исследования международной консалтинговой компании PwC (PricewaterhouseCoopers), которое представлено на портале "Будущее России. Национальные проекты" (оператор – ТАСС), 61% российских компаний считает, что драйвером развития является цифровизация бизнеса [3].

Цифровизация должна быть не самоцелью предприятий, а инструментом по их модернизации и развитию. Этот процесс требует больших инвестиционных вложений и на данный момент не все компании готовы к такому шагу.

По опросу ТАСС, 59% руководителей предприятий в России считают, что за счет перехода на рельсы цифровой экономики смогут повысить качество бизнес-процессов своих компаний, 27% респондентов рассматривают ее как инструмент оценки данных для предоставления специализированной продукции. Но при этом только 33% опрошенных относятся к цифровизации более дальновидно и придают особое значение комплексным цифровым решениям.

Цифровизации образовательного процесса должна быть обеспечена необходимыми условиями. Одним из них является Интернет, позволяющий получать высшее образование, повышать профессиональный уровень и осваивать требуемые компетенции [4].

Используя метод сравнения, проведем оценку информационно-цифровых возможностей электронного обучения населения в целом по Российской Федерации (РФ) и одного из крупных регионов – Северо-Западного Федерального округа (СЗФО).

Согласно отчету Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации, наблюдается общая тенденция роста динамики численности абонентов фиксированного широкополосного доступа к сети Интернет на 100 человек населения по России и СЗФО. Наибольшее увеличение отмечается в Мурманской (+13,05), Ленинградской (+11,10), Псковской (+11,90) областях – это свидетельствует о благоприятных условиях для интернет-продвижения образовательных услуг [5].

Можно отметить, что рост обращений к информационной сети Интернет поддерживается за счет ее

использования не только в личных целях, но и для работы, увеличения численности работников в дистанционном формате, что особенно актуально в периоды распространения новой коронавирусной инфекции.

С целью определения оценки уровня цифровизации и выявления ключевых компетенций для работы в условиях цифровой экономики, где важную роль играет цифровая трансформация образования, в рамках научного эксперимента в апреле 2020 г. нами был проведен опрос с использованием Google-формы. В анкетировании приняли участие 140 человек – это студенты, выпускники экономических специальностей, преподаватели и сотрудники следующих вузов: Череповецкого государственного университета (г. Череповец) – 85 человек, Вологодского государственного университета – 16 человек, СПбУТУиЭ – 7 человек, ТГТУ – 2 человека, ЛГУ им. Пушкина – 4 человека, Финансового университета при Правительстве РФ – 15 человек, Вологодской государственной молочно-хозяйственной академии имени Н.В. Верещагина – 11 человек. Полученные результаты, представляют интерес в изучении проблем готовности использования цифровых информационных решений именно в вузовской системе.

Обратимся к результатам проведенного опроса. Возраст участников варьировался: наиболее активная возрастная группа от 18 до 29 лет – 55% (75 человек), от 30 до 59 лет – 35% (50 человек), 60 и более лет – 10% (15 человек). При анализе, в первую очередь необходимо было выявить, какое отношение имеет респондент к сфере предоставления образовательных услуг. Большая часть это студенты вузов 49% (69 человек), выпускники вузов составили 18% (26 человек), преподаватели и сотрудники – 33% (45 человек).

На вопрос: «Как Вы оцениваете уровень готовности российского высшего образования к переходу на цифровой формат учебно-методической работы?», участники ответили: «низкий» 12,1% (17 человек), «средний» 81,2% (114 человек), «высокий» 6,7% (9 человек).

Немаловажным вопросом является изменение уровня мотивации студентов вузов при формировании необходимых компетенций с использованием электронного образования. Следующий вопрос был: «Связываете ли Вы формирование у студентов необходимых компетенций с уровнем мотивации к использованию технологий электронного образования?» Исходя из нашего исследования, ответы распределились следующим образом: «да» 82,1% (114 человек), «нет» 9,8% (14 человек), «затрудняюсь ответить» 8,1% (12 человек).

Участникам опроса было предложено оценить качество преподавательско-педагогического состава как один из факторов готовности высшей школы к реализации цифровых решений. На вопрос: «Как Вы оцениваете уровень цифровых компетенций педагогических работников, их готовность к изменениям?», участники ответили: «низкий» 22,6% (32 человека), «средний» 66,2% (93 человека), «высокий» 11,2% (15 человек).

Следующий аспект готовности образовательных организаций к цифровизации, который был исследован, – уровень оснащенности вузов персональными

компьютерами, доступом к сети Интернет. На вопрос: «Как Вы оцениваете уровень оснащённости вузовской системы компьютерной техникой и программами?», респонденты высказались так: «низкий» 16,4% (23 человека), «средний» 73,4% (103 человека), «высокий» 10,2% (14 человек).

Участники опроса внесли следующие предложения по развитию цифровизации образовательного процесса в России: внедрять цифровые информационные решения в различные сферы деятельности, развивать инфраструктуру, инвестировать средства в цифровое развитие электронного обучения, перенимать опыт у зарубежных стран, повышать цифровую грамотность населения, усиливать вопросы конфиденциальности информации.

По мнению респондентов, цифровизация позволит повысить качество образовательного процесса, обеспечит дистанционное взаимодействие, предоставит открытый доступ к информации, положительно повлияет на получение студентами компетенций. Цифровые технологии быстро распространяются и обновляются, открывают неограниченные возможности для доступа к цифровым инструментам, материалам и сервисам.

ДОСТУПНОСТЬ И ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Зарубежный и отечественный опыт убедительно свидетельствует, что решение проблем, связанных с доступом к цифровым технологиям и преодолением «цифрового разрыва» между участниками образовательного процесса, должно происходить в направлении развития информационных и коммуникационных технологий [6].

Вопросы практической реализации цифровых решений в контексте доступности и безопасности интернет-ресурсов наиболее полно отражены в работе отечественных исследователей А.В. Морозова и Л.Н. Самборской [7]. Подробный анализ зарубежной практики проведен Н.П. Петровой и Г.А. Бондаревой [8], которые пришли к выводу, что преобладает подход интеграции каждого обучающегося в интернет-среду. В работах зарубежных специалистов прослеживается мысль о необходимости применения сложных информационных технологий, позволяющих снизить вероятность рисков. Так, П. Торадения, А. Феррейра, Дж. Ли, Р. Тан [9] особое внимание уделяют контролю над цифровыми технологиями.

Следует обратить внимание на то, что благодаря Интернету, студенты и преподаватели получают доступ к различным образовательным источникам и учебным заведениям. Интернет способен обеспечить возможность электронного обучения, основанного на запросе. В сети преподаватели могут не только работать со студентами, но и сотрудничать со своими коллегами, а также использовать новейшие методики совместно, посредством связи через глобальную сеть, и интегрировать их в учебные планы [10].

Компьютер превратился в уникальную, эксклюзивную технологическую систему, объединяющую в себе текст, изображение и звук, что является его главным достоинством при использовании в обучающих

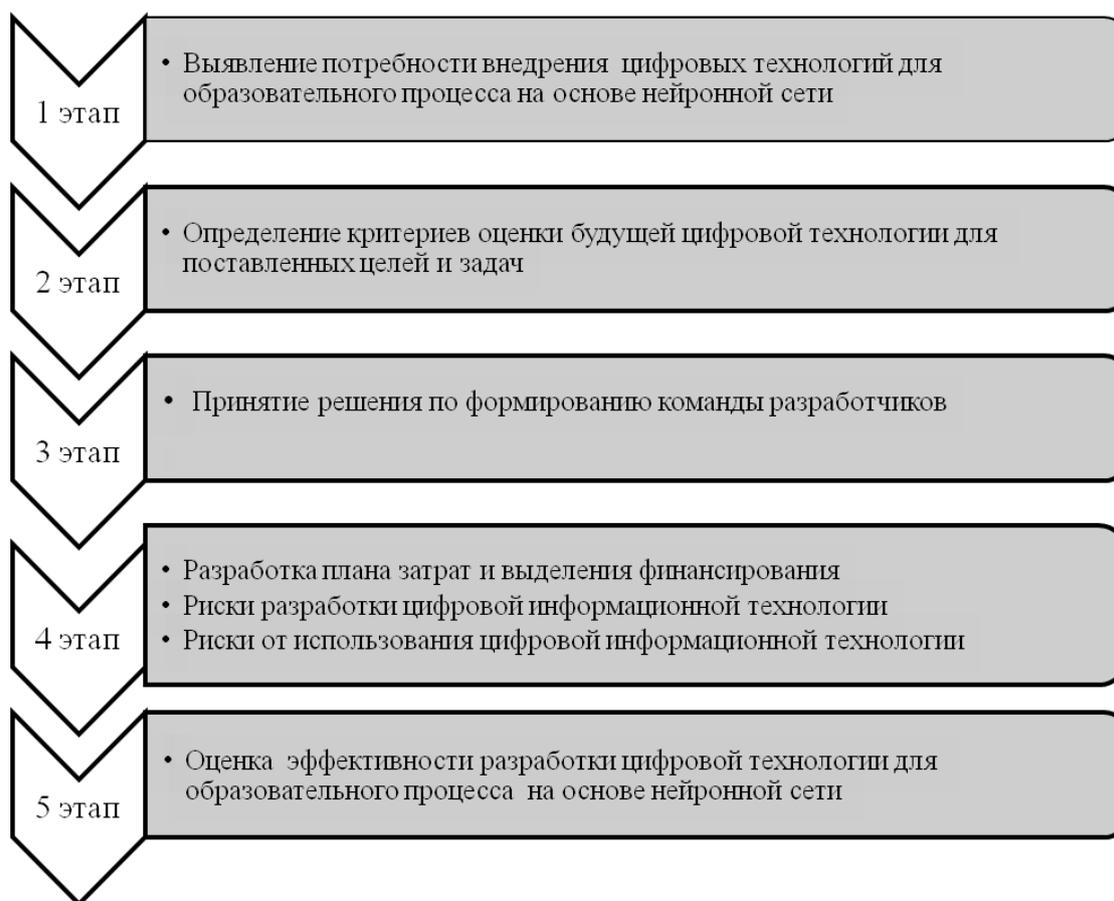
процессах [11]. Возможности интернет-технологий в образовании позволяют сделать процесс обучения более доступным и быстрым для любого пользователя сети. На каждом этапе обучения эти возможности дают разный результат в зависимости от поставленной цели. Они создают людям условия, при которых любой человек, независимо от географического местоположения, материального состояния, уровня образования, может получить необходимые ему знания в требуемом объеме. Использование дистанционных технологий позволит инвалидам и лицам с ограниченными возможностями успешно получать высшее образование [12, 13].

Роль интернет-технологий в образовании проявляется в том, что они совершенствуют технологии получения научного знания, его доступность, скорость обработки информации. Активное внедрение цифровых решений является катализатором процесса преодоления территориального цифрового неравенства в продвижении электронного образования.

Сегодня возникает необходимость сравнительной оценки использования информационно-телекоммуникационных технологий сельским и городским населением. Согласно данным статистического сборника «Информационное общество в Российской Федерации. 2020» наблюдается общая тенденция роста домашних хозяйств, имеющих доступ к сети Интернет. Так, в 2019 г. по отношению к 2015: город +3,7, село +8,5. Одновременно отмечается значительное увеличение выхода в Интернет с мобильных устройств в обоих видах населенных пунктов: в городе показатель доступа к сети Интернет +23,6, в сельской местности +27,3 [14].

Продвижение электронного обучения интересно рассмотреть с позиции гендерного подхода. С какой целью мужчины и женщины используют сеть Интернет, в том числе для дистанционного обучения (доля в общей численности населения, использующего сеть Интернет)? Можно сделать вывод, что по показателю «Поиск информации об образовании, курсах обучения, тренингах и т.п.» с 2015 по 2019 гг. доля женщин больше, чем мужчин, но по абсолютным показателям видно, что мужчин значительно больше, чем женщин. Показатель «Дистанционное обучение» у женщин и мужчин значительно не различается, но абсолютный прирост для мужчин преобладает на 0,1%. По показателю «Получение знаний и справок с использованием Википедии, онлайн-энциклопедий или другого аналогичного источника информации» показатели участия женщин превышают показатели мужчин [14].

Отдельно следует уделить внимание рискам и угрозам, которым постоянно подвергается процесс цифровизации. Угрозы информационной безопасности для сельского и городского населения (доля от общей численности населения, использующего сеть Интернет) имеют следующие тенденции: с 2015 по 2019 гг. – показатель «несанкционированная рассылка (спам)» увеличился в городе +3,3, в селе +4,7; показатель «заражение вирусами, приведшее к потере информации» снизился -9,3 и -10,8 соответственно по видам населенных пунктов [14].



Этапы разработки цифровых решений в образовательном процессе

Таким образом, обеспечение информационной безопасности и борьба с киберпреступностью находятся в числе приоритетных. Внимание уделяется именно защите информации и предотвращению возможных угроз. Причем, в условиях распространения новой коронавирусной инфекции это приобрело массовый характер [15]. По данным Автономной некоммерческой организации «Цифровая экономика», с начала года 2020 г. в России зафиксировано 363 тыс. киберпреступлений, что на 77% больше, чем за аналогичный период прошлого года. "В каждом пятом регионе страны их число увеличилось в два и более раза" – отмечается на официальном сайте организации [16].

Следует отметить, что именно правильный выбор инструментов автоматизации, позволяет существенно повысить эффективность образовательных технологий. А теперь определим этапы принятия цифровых информационных решений для учебного процесса и создания цифрового отображения или виртуального моделирования (рисунок).

Предлагаемое нами решение строится на следующих методологических подходах к цифровым процессам в организации электронного образования с использованием прикладных программ – эмуляторов работы нейронных сетей (нейропакетов):

1) распознавание текстов при проведении тестов, сборе и анализе информации об успеваемости сту-

дентов; роботизация и машинное обучение, внедрение автоматизированного учебного места;

2) проверка студенческих работ на предмет цифровой подделки; хранение результатов проверок в единой системе рейтингов;

3) контроль за студентами с помощью автоматизации процессов сбора и актуализации информации с помощью цифровых технологий.

Следует отметить, что именно правильный выбор инструментов автоматизации, позволяет существенно повысить эффективность образовательных технологий.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Стремительно меняющийся уровень цифровизации жизни общества вносит постоянные коррективы в возможность реализовать человеческие потребности для получения качественного образования. Развитие компьютерных технологий и сетевых средств Интернета в образовании позволяет сделать процесс обучения более доступным и быстрым для любого пользователя. Эти возможности создают условия, при которых любой человек, независимо от географического местоположения, материального состояния, уровня образования может получать необходимые ему знания в требуемом объеме.

Таким образом, доступ к Интернету – это необходимое условие того, чтобы человек мог планировать получение образовательных услуг, в том числе в электронном формате. Цифровая среда способствует доступности высшего образования для людей, которые, учитывая личный и рабочий график, способны реализовать свои жизненные целевые установки по получению или повышению профессиональных компетенций. Перспективы преодоления цифрового неравенства между городом и селом достаточно сложный и длительный процесс, но на основе развития человеческого потенциала он позволит обеспечить продвижение электронного обучения, качественного образования населения, независимо от типа местности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тюкавкин Н.М. Цифровизация образовательных процессов в вузах // Эксперт: теория и практика. – 2019. – №1. – С. 35- 41.
2. Журнал «Регионы России». – URL: <https://www.gosrf.ru/news/41011/> (дата обращения 09.01.2021).
3. Цифровизация частного бизнеса в странах Центральной и Восточной Европы. – URL: <https://www.pwc.ru/ru/assets/emea-private-business-survey.pdf> (дата обращения 09.01.2021).
4. Оленев С.М. Качество научной информации в контексте современных проблем образования и науки в Российской Федерации // Научно-техническая информация. Сер. 1. – 2018. – № 2. – С. 8-11.
5. Официальный сайт Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций Российской Федерации. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/pages/statistika-otrasli/#section-510>
6. Фомичева Т.В. Влияние цифровизации экономики Российской Федерации на социокультурные ценности россиян// Социальная политика и социология. – 2019. – №2. – С. 164–171.
7. Морозов А.В., Самборская Л.Н. Особенности электронного образования в условиях цифровизации // Управление образованием: теория и практика. – 2020. – №2. – С. 62-69.
8. Петрова Н.П., Бондарева Г.А. Цифровизация и цифровые технологии в образовании // Мир науки, культуры, образования. – 2019. – №5. – С. 353-355.
9. Thoradeniya P., Ferreira A., Lee J., Tan R. The diffusion of sustainability key performance indicators in a developing country context // Accounting, Auditing & Accountability Journal. – 2020. – Vol. ahead-of-print, № ahead-of-print. DOI: 10.1108/AAAJ-07-2019-4106.
10. Варламова В.А., Попов А.А. Роль и влияние сети интернет в образовательном процессе вуза // Научный электронный журнал «Меридиан». – 2018. – №4. – С. 9-11.
11. Уваров А.Ю., Фрумин И.Д. Трудности и перспективы цифровой трансформации образования. – Москва: Издательский дом Высшей школы экономики, 2019. – С. 14-20.
12. Об образовании в Российской Федерации. Федеральный закон от 29.12.2012 N 273-ФЗ (ред. от 08.12.2020) // Законодательство Российской Федерации. Сборник основных федеральных законов РФ. – URL: <https://fzrf.su/zakon/ob-obrazovanii-273-fz/> (дата обращения 09.01.2021).
13. Федоренко И.Н. Технологии дистанционного обучения по дисциплинам экономического профиля для реализации инклюзивного образования // Вестник Череповецкого государственного университета. – 2017. – № 4. – С. 148-153.
14. Информационное общество в Российской Федерации. 2020: статистический сборник И74 / Федеральная служба государственной статистики; Нац. исслед. ун-т «Высшая школа экономики». – Москва: НИУ ВШЭ, 2020. – URL: <https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/lqv3T0Rk/info-ob2020.pdf> (дата обращения 09.01.2021).
15. Официальный сайт Информационно-правового портала ГАРАНТ.РУ. – URL: <https://www.garant.ru/company/disclaimer/>
16. Официальный сайт АНО Цифровая экономика. – URL: <https://data-economy.ru/organization>

Материал поступил в редакцию 14.01.21.

Сведения об авторах

ФЕДОРЕНКО Ирина Николаевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и менеджмента инфокоммуникаций Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций им. проф. М.А.Бонч-Бруевича
e-mail: Fedorenko.irina@mail.ru

УДК [316.772:530.145]:004

И.Н. Сухоручкина

Программы и проекты развития квантовых коммуникаций в России

Рассмотрены национальные программы развития квантовых коммуникаций в РФ, дорожные карты «Квантовые коммуникации», «Новые поколения узкополосной беспроводной связи для Интернета вещей и связи ближнего и среднего радиуса действия» в рамках национальной программы «Цифровая экономика РФ». Проанализированы приложения квантовой информатики, квантовые процессоры, ранжированы языки квантового программирования и протоколы квантового распределения ключей по годам. Представлены результаты разработок национальных и международных проектов сотрудничества российских исследовательских организаций, университетов, госкорпораций в области квантовых коммуникаций в РФ, включая квантовые компьютеры, квантовую криптографию, квантовое распределение ключей, квантовую телефонию, междугородние и межконтинентальные линии квантовой связи с участием РФ, Китая, Индии и ЮАР в рамках проектов БРИКС, ЕС, ООН, международных организаций, программы высшего и последилового образования по квантовым коммуникациям, важным для безопасности сетей связи.

Ключевые слова: квантовые коммуникации, квантовые технологии, квантовая криптография, квантовые компьютеры, квантовое распределение ключей, квантовый Интернет, квантовая телефония, дорожная карта развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации»

DOI: 10.36535/0548-0019-2021-08-4

ВВЕДЕНИЕ

Квантовые технологии и коммуникации – перспективные и прорывные направления в области информационных технологий, цифрового развития, связи и коммуникаций XXI века в России, США, Китае, Японии и странах ЕС. В РФ квантовые коммуникации предназначаются для защиты информационно-телекоммуникационных сетей, информации финансового сектора, госорганов, высокотехнологичных компаний.

В **квантовых коммуникационных сетях** (*quantum networks*) передаваемые данные защищены благодаря применению законов квантовой механики, квантовых систем криптографии и квантовых вычислений. Безопасность передачи данных реализуется с помощью алгоритмов квантового распределения ключей (КРК, *quantum key distribution – QKD*) и волоконно-оптических систем передачи квантовых состояний фотонов. Квантовые сети развиваются после успешных экспериментов по квантовой телепортации [1]; квантовая криптография и её приложение: безопасность

связи – на стадии коммерциализации; квантовые вычисления – на стадиях гипотез, разработок и коммерциализации.

В **квантовых технологиях**, системах и устройствах используются принципы квантовой механики: 1) квантованность, дискретность уровней энергии, квантовый размерный эффект, изменение термодинамических и кинетических свойств кристалла; квантовый эффект Холла проводимости двумерного электронного газа в магнитных полях при низких температурах; 2) квантовая когерентная суперпозиция альтернативных чистых состояний систем; 3) квантовая запутанность (*quantum entanglement*) состояний двух или больше объектов; 4) квантовое туннелирование; 5) квантовый параллелизм, что позволяет квантовым компьютерам превзойти производительность классических; 6) принцип Гейзенберга неопределенности одновременного определения пары квантовых операторов системы: координаты и импульса, электрического и магнитного полей, тока и напряжения. Эти технологии реализуются в кванто-

вых коммуникациях, квантовых сетях, квантовой криптографии, квантовом распределении ключей, квантовых алгоритмах, квантовой телепортации, квантовых вычислениях, квантовых компьютерах, квантовых радарах, квантовых изображениях, квантовой визуализации, квантовой микроскопии, квантовых сенсорах, квантовой метрологии.

РАЗВИТИЕ КВАНТОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ И КОММУНИКАЦИЙ

Квантовая информатика (*quantum information science*) возникла в 1990-х гг. на стыке квантовой механики, теории алгоритмов [2] и теории информации; она изучает принципы управления динамикой квантовых систем. Приложения квантовой информатики:

- квантовая криптография;
- технологии запутанных состояний;
- компьютерное моделирование систем частиц.

Квантовые компьютеры (квантовые виртуальные машины) – модели квантовых систем применяются:

в квантовой криптографии: квантовом распределении ключей, позиционной квантовой криптографии, недоверчивой квантовой криптографии, квантовой криптографии вне зависимости от устройства, квантовом обязательстве, моделях ограниченного и зашумленного квантового хранилища, квантовом подбрасывании монеты;

в постквантовой криптографии на основе: хеш-функций, кодов исправления ошибок, решеток, многомерных квадратичных систем, шифрования с секретным ключом и на изогениях суперсингулярных эллиптических кривых;

в неструктурированном поиске: алгоритмах Шора, Гровера, Бернштейна – Вазирани, К. Залки – С. Визнера, Дойча – Йожи, Саймона, квантового счета, оценки фазы, квантовом преобразовании Фурье, квантовом сверхплотном кодировании;

в моделировании квантовых систем: имитаторах захваченных ионов, ультрахолодных симуляторах атомов, квантовых симуляторах с использованием сверхпроводящих кубитов, адиабатическом квантовом вычислении на основе квантового отжига, гамильтоновом моделировании;

в адиабатической оптимизации;

в искусственном интеллекте (ИИ), квантовом машинном обучении: моделировании линейной алгебры с квантовыми амплитудами, алгоритмах квантового машинного обучения на основе поиска Гровера, квантово-усиленном обучении с подкреплением, квантовых методах отбора проб, скрытых квантовых марковских моделях, полностью квантовом машинном обучении, квантовых алгоритмах для линейных систем уравнений, дифференцируемом программировании, квантовой томографии, квантовых нейронных сетях;

в квантовом считывании (проверке подлинности объектов) физических неклонированных функций: квантовой аутентификации сообщений и объектов, квантовых цифровых подписях, шифровании с открытым ключом, квантовом снятии отпечатков пальцев, квантовых односторонних функциях;

в квантовой визуализации: фантомном изображении, квантовом зондировании (лидарах), квантовой литографии;

в квантовой оптике: источниках одиночных фотонов на квантовых точках, квантовой метрологии, квантовых радарах, квантовых усилителях, квантовой границе Крамера – Рао, квантовой информации Фишера, квантовом шуме, квантовом отражении, квантовом стохастическом исчислении;

в моделировании молекулярных взаимодействий и химических реакций;

в квантовых алгоритмах для вычислительной биологии.

Языки квантового программирования позволяют выражать квантовые алгоритмы с использованием высокоуровневых конструкций (по годам):

Quantum pseudocode (Quantum Random Access Machine – QRAM; E. Knill, Los Alamos National Laboratory, США, 1996 г. – URL: <https://www.osti.gov/biblio/366453>);

QCL (Quantum Computation Language; B. Oemer, Венский технический университет, 2002 г. – URL: <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0211100.pdf>);

Q language (A. Whitney, компания Kx Systems, 2003 г. – URL: <https://code.kx.com/q/>);

Quantum lambda calculi (A. Tonder, Брауновский университет, США, 2003 г. – URL: <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0307150>);

QPL (Quantum Physics and Logic; P. Selinger, Университет Оттавы, 2004 г. – URL: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-540-24754-8_1);

cQPL (P. Selinger, 2004 г. – URL: <https://www.cambridge.org/core/journals/mathematical-structures-in-computer-science/article/abs/towards-a-quantum-programming-language/54D5BCF28724CA6BE38F98DC4B6803DF>);

QML (Qt Meta Language, Qt Modeling Language; T. Altenkirch и J. Grattage, Университет Ноттингем, 2005 г. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/1509229>);

qGCL (Quantum Guarded Command Language; P. Pavan, L. Larcher, Università di Modena e Reggio Emilia; M. Cuozzo, P. Zuliani, A. Conte, STMicroelectronics, Италия, 2006 г. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1109/TCAD.2003.814952>);

Quipper (версия 0.9.0.0; A.S. Green, N.J. Ross, P. Selinger, Dalhousie University, Канада; P.L.F. Lumsdaine, Институт перспективных исследований, Принстон, 2013 г. – URL: <https://dl.acm.org/doi/abs/10.1145/2491956.2462177>);

LIQUi> (Language-Integrated Quantum Operations; Microsoft Research, 2016 г. – URL: <https://www.microsoft.com/en-us/research/project/language-integrated-quantum-operations-liqui/>);

QMASM (Quantum Macro Assembler; S. Pakin, Los Alamos National Laboratory, 2016 г. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7761637>);

Q# (Q Sharp как часть Quantum Development Kit; Microsoft, 2017 г. – URL: <https://docs.microsoft.com/en-us/azure/quantum/user-guide/>);

QPanda2 (компания HeFei Origin Quantum Computing Technology, Китай, 2017 г. – URL: <http://www.originqc.com.cn/QPanda/download.html>);

Qiskit (IBM Research, 2017 г. – URL: <https://qiskit.org/>);

Silq (B. Bichsel, M. Baader, T. Gehr, M. Vechev, компания ETH Zürich, Швейцария, 2020 г. – URL: <https://dl.acm.org/doi/10.1145/3385412.3386007>).

Квантовые процессоры основаны на схемах и квантовом отжиге. Технологии квантового компьютера: ионы в вакуумных ловушках (атомы в оптических ловушках; разработали П. Цоллер и Х.И. Сирак в 1994 г., Нобелевская премия 2009 г.);

оптические технологии: использование и детектирование генерации квантовых состояний света;

сверхпроводящие элементы: переходы Джозефсона, сверхпроводящий квантовый интерферометр (СКВИДы – SQUID, superconducting quantum interference device);

смешанные технологии: использование приготовленных запутанных состояний фотонов для управления атомными ансамблями и вычислительными сетями;

твердотельные квантовые точки на полупроводниках.

Модели квантовых компьютеров:

адиабатический квантовый компьютер на основе квантового отжига: вычисление разлагается на преобразование начального гамильтониана в конечный гамильтониан, и его состояния содержат решение;

массив квантовых вентилях: вычисление разложено на последовательность квантовых вентилях по несколько кубитов;

односторонний квантовый компьютер: вычисление разложено на последовательность однокубитных измерений запутанного начального состояния или состояния кластера;

топологический квантовый компьютер: вычисление разложено на сплетение энионов в двумерной решетке.

Реализации квантовых компьютеров:

на воздействии лазерного излучения на квантовые ямы и квантовые точки при комнатной температуре;

на захваченных ионах: кубиты реализованы внутренними состояниями захваченных ионов;

на инкапсулированных в углеродные оболочки металлических наночастицах (ИМНЧ) (URL: <http://irbis-corp.spsl.nsc.ru/fulltext/ippu/ectrudu/446.pdf>);

на квантовой электродинамике резонатора: кубиты заданы состояниями захваченных атомов, связанных с высокоточными резонаторами;

на квантовых проводах: кубиты реализованы парой квантовых проводов, соединенных квантовыми точечными контактами;

на квантовых точках (квантовый компьютер Д. Лосса – Д.П. Ди Винченцо, 1997 г.): спиновые кубиты определены спиновыми состояниями захваченных электронов;

на линейных оптических элементах: кубиты заданы обработкой состояний мод света с помощью линейных элементов (зеркал, светоделителей, фазовращателей);

на молекулярных магнитах: кубиты определены спиновыми состояниями;

на нейтральных атомах в оптических решетках: кубиты реализованы внутренними состояниями нейтральных атомов в оптической решетке;

на нелинейно-оптических квантовых компьютерах: кубиты реализованы при обработке состояний разных мод света с помощью линейных и нелинейных элементов;

на неорганических кристаллах, легированных ионами редкоземельных металлов (иттербия, тулия): кубиты заданы электронными состояниями примесей в оптических волокнах;

на основе алмаза: кубиты заданы электронными или ядерными спинами центров азотных вакансий в алмазе и взаимодействиями между резонаторами в оптических резонансных полостях в волноводах с алмазом (URL: <https://nplus1.ru/news/2016/10/15/rqc-diamond-platform>);

на основе конденсата Бозе – Эйнштейна;

на основе электронного спинового резонанса (электронного парамагнитного резонанса – ЭПР, открытого Е.К. Завойским в 1944 г., Казанский государственный университет) фуллеренов: кубиты на электронных спинах атомов или молекул в фуллеренах;

на основе ядерного магнитного резонанса (ЯМР) молекул в растворах, где кубиты созданы ядерными спинами в растворенных молекулах и исследуются с помощью радиоволн;

на пространственно-ориентированных положениях групп электронов в квантовых точках: кубиты заданы положениями электронов в двойных квантовых точках;

на сверхпроводящих электронных схемах (переходах Джозефсона): кубиты реализованы состояниями малых сверхпроводящих цепей;

на твердотельных ядерных магнито-резонансных (ЯМР) ансамблевых квантовых компьютерах Б. Кейна (1998 г.): кубиты реализованы ядерными спиновыми состояниями доноров фосфора в кремнии;

на транзисторах с захватом положительных дырок с помощью электростатических ловушек;

на электронах вблизи границы жидкого гелия: кубиты – спины электронов.

Протоколы квантового распределения ключей (по годам):

протокол неявной передачи (oblivious transfer – OT; М.О. Рэбин, Гарвардский университет, 1981 г. [3]);

BB84 (С.Н. Беннетт, IBM Research; G. Brassard, Монреальский университет, 1984 г. [4]);

E91 (протокол квантового распределения ключей с использованием электронного парамагнитного резонанса (А. Эйнштейн, В. Подольский, Н. Розен, EPR-protocol; А.К. Экерт, Оксфордский университет, 1991 г. [5]);

B92 (С.Н. Беннетт, 1992 г. [6]);

BBM92 (С.Н. Беннетт, G. Brassard, N.D. Mermin, Гарвардский университет, 1992 г. [7]);

протокол Гольденберга – Вайдмана (L. Goldenberg, L. Vaidman, Тель-Авивский университет, 1995 г. [8]);

MSZ96 (Y. Mu, J. Seberry, Y. Zheng, Университет Вуллонгонг, Австралия, 1996 г. [9]);

протокол с 6-ю состояниями (6-state protocol; Н. Вехманн-Паскуинуччи, N. Gisin, Университет Женевы, 1999 г. [10]);

дифференциальный фазовый сдвиг (differential phase-shift – DPS; К. Иноэ, Е. Вакс, Y. Yamamoto, Стэнфордский университет, японская корпорация NTT, 2002 г. [11]);

протокол состояния приманки (decoy state QKD protocol; W. Y. Hwang, Северо-Западный университет, Чикаго, 2003 г. [12]);

COW (coherent one-way; N. Gisin, Университет Женевы, 2004 г. [13]);

ARG04 (A. Acin, N. Gisin, V. Scarani, Университет Женевы, 2004 г. [14]);

SARG04 (V. Scarani, A. Acin, N. Gisin, Университет Женевы; G. Ribordy, Id-Quantique, 2004 г. [15]);

Lo05 (H.K. Lo, X. Ma, K. Chen, Университет Торонто, 2005 г. [16]);

протокол трехэтапного квантового шифрования (three-stage quantum cryptography protocol, Kak's three-stage protocol; S. Kak, Государственный университет Луизианы, 2006 г. [17]);

KMB09 (M.M. Khan, A. Beige, Университет Лидс, Великобритания; M. Murphy, Ульмский университет, Германия, 2009 г. [18]);

детектор-независимое квантовое распределение ключей (measurement-device-independent QKD – MDI-QKD; H.K. Lo, B. Qi, Университет Торонто; M. Curty, Университет Виго, Испания, 2012 г. [19]);

HDQKD (high-dimensional quantum key distribution – многомерное квантовое распределение ключей; J. Mower, Z. Zhang, P. Desjardins, C. Lee, J.H. Shapiro, D. Englund, Массачусетский технологический институт, Колумбийский университет, 2013 г. [20]).

ПРОГРАММЫ РАЗВИТИЯ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ В РОССИИ

В 2013-2019 гг. уровень киберпреступности в РФ вырос в 20 раз и постоянно увеличивается: 15 % преступлений в РФ совершается с помощью информационных технологий в киберпространстве. В 2020 г. число кибератак на российские информационные порталы госорганов власти возросло в 3,5 раза [21].

В этой сфере развивается взаимодействие подразделений информационной преступности МВД РФ и ФСБ РФ и международное сотрудничество в борьбе с киберпреступностью: консультации с представителями правоохранительных органов Евросоюза и США, российско-французские встречи по противодействию киберпреступности (2019 г.) [22]. 23 ноября 2001 г. Советом Европы принята Конвенция о киберпреступности (Convention on cybercrime, ETS N 185, Будапешт, 23.11.2001, с изменениями от 28.01.2003) [23]. Разрабатывается инициированная Российской Федерацией Конвенция ООН по противодействию киберпреступности. 29 октября 2018 г. Европейская комиссия начала программу Quantum Flagship с бюджетом 1 млрд евро и 20-ю проектами в четырех областях: 1) квантовые коммуникации (проекты CiviQ, Quantum Internet Alliance, Qrange, UNIQUORN); 2) квантовое моделирование (Qombs, PASQUAN); 3) квантовая метрология и сенсоры (iqClock, MetaboliQs, macQsimal, ASTERIQS); 4) квантовые вычисления (OpenSuperQ, AQTION), а также проекты фундаментальных исследований (2D-SIPC, S2QUIP, QMiCS, SQUARE, PhoG, PhoQuS, MicroQC) [24]. 30 июля 2019 г. на 74-й сессии Генеральной Ассамблеи ООН Генеральный секретарь ООН представил доклад «Противодействие использованию информационно-коммуникационных технологий в преступных целях» [25].

1 декабря 2016 г. в Послании к Федеральному Собранию Президент РФ В.В. Путин предложил сосредоточиться на сквозных технологиях: цифровых, квантовых, робототехнике, нейротехнологиях; укреплять защиту от киберугроз, повышать устойчивость инфраструктуры, финансовой системы, госуправления; в реализации Программы цифровой экономики опираться на российские компании, научные и инжиниринговые центры [26]. 21 апреля 2021 г. в Послании к Федеральному Собранию Президент РФ отметил важность предложений РФ о международном диалоге в области кибербезопасности [27].

Национальная программа «Цифровая экономика РФ» принята в соответствии с Указом Президента РФ от 07.05.2018 № 204 «О национальных целях и стратегических задачах развития РФ на период до 2024 г.» и утверждена 24 декабря 2018 г. на заседании президиума Совета при Президенте РФ по стратегическому развитию и национальным проектам [28]. 10 июля 2019 г. на церемонии обмена соглашениями между правительством и крупнейшими компаниями с госучастием Президент РФ призвал гарантировать технологический суверенитет РФ в развитии перспективных и прорывных высокотехнологичных технологий связи. Подписаны соглашения между правительством РФ и ОАО «РЖД» (направление «Квантовые коммуникации»), госкорпорацией «Ростех» («Новые поколения узкополосной беспроводной связи для Интернета вещей и связи ближнего и среднего радиусов действия», «Квантовые сенсоры», «Технологии распределенного реестра»), ПАО «Сбербанк» («Искусственный интеллект»), госкорпорацией «Росатом» («Квантовые вычисления» и «Технологии создания новых материалов и веществ»), а также трехстороннее соглашение с «Ростех» и ПАО «Ростелеком» по «Беспроводной связи нового поколения». В.В. Путин отметил, что квантовые технологии и коммуникации определяют экономику РФ и мировую экономику; задача – гарантировать РФ технологический суверенитет, достойное место на перспективных рынках; государство окажет компаниям-партнерам помощь в форме финансовых, налоговых инструментов, комфортной регуляторной среды, гибких правовых режимов, разработки дорожных карт, целевых показателей, обеспеченности научно-технологической и производственной инфраструктурой [29].

10 октября 2019 г. Правительственная комиссия по цифровому развитию утвердила дорожные карты: «Квантовые технологии», «Технологии беспроводной связи», «Компоненты робототехники и сенсорики», «Технологии виртуальной и дополненной реальности», «Системы распределенного реестра», «Новые производственные технологии» [30], а также «Нейротехнологии и искусственный интеллект» [31] и выделила 850 млрд руб. на их реализацию. 19 ноября 2020 г. Правительственная комиссия по цифровому развитию утвердила дорожную карту «Мобильные сети связи пятого поколения» и 10 декабря 2020 г. – План реализации до 2024 г. в РФ Концепции построения и развития узкополосных беспроводных сетей связи «Интернета вещей». Пять дорожных карт – в ведении Министерства цифрового развития, связи и массовых коммуникаций: «Квантовые коммуникации», «Кван-

товые вычисления», «Мобильные сети связи пятого поколения», «Интернет вещей», «Технологии распределенных реестров». Три дорожные карты – в ведении Министерства промышленности и торговли РФ: «Квантовые сенсоры», «Технологии распределенных реестров», «Технологии новых материалов и веществ». Госкорпорации софинансируют дорожные карты: «РЖД» – 40 % расходов по «Квантовым коммуникациям», «Росатом» – 50 % расходов по «Квантовым вычислениям», «Ростелеком» и «Ростех» – 50 % расходов по дорожной карте 5G. Остальные 50-60 % расходов финансируются из бюджета РФ [32].

4 сентября 2020 г. дорожная карта «Квантовые коммуникации» до 2024 г., разработанная «РЖД», одобрена Правительственной комиссией по цифровому развитию, использованию информационных технологий [33] и включает 120 проектов технологий оптоволоконных, атмосферных и спутниковых квантовых коммуникаций, коммерческих квантовых сетей связи и оборудования, абонентских устройств, квантового Интернета вещей, рынка и экосистемы образования, науки и промышленности РФ.

На развитие квантовых коммуникаций РФ до конца 2021 г. требуется 25 млрд руб.: 12,9 млрд руб. – из бюджета РФ, 5,3 млрд руб. – средства «РЖД», 6,5 млрд руб. – внебюджетные инвестиции. К 2024 г. рынок квантовых коммуникаций вырастет до 55 млрд руб., что составит 8 % от мирового, сформируется квантовая сеть протяженностью 10 тыс. км магистральных оптоволоконных каналов для 1 тыс. абонентов [34]. Предложены три варианта реализации квантовых сетей: 1) по действующим оптоволоконным сетям связи; 2) по открытому пространству – по сетям сотовых операторов; 3) через спутниковую связь – обмен квантовым распределением ключей между наземными станциями и орбитальными спутниками.

Национальная квантовая сеть создается как часть Евразийского квантового пути, объединяющего РФ, Китай, Индию, Турцию, со сквозной передачей квантового распределения ключей. В основе построения этой сети проекты АО «СМАРТС»: «Создание автодорожных телекоммуникационных сетей», прокладка магистральных волоконно-оптических линий связи (ВОЛС) в обочину автомобильных дорог 150 тыс. км в 85 субъектах РФ (с 2007 г.) и «Создание системы управления географически распределенными центрами обработки данных» (с 2017 г.) для контроля доступа к информационным каналам [35].

На заседании президиума Правительственной комиссии по цифровому развитию, использованию информационных технологий 31 июля 2020 г. утверждена разработанная госкорпорацией «Росатом» с финансово-экономическим обоснованием дорожная карта «Квантовые вычисления», ее цели: создание к 2024 г. российского 100-кубитного квантового компьютера; решение инженерных задач квантовых вычислений, формирование экосистемы развития: инфраструктуры, образовательных программ, консорциумов с промышленными компаниями. Госкорпорация создала Национальную квантовую лабораторию – консорциум с участием НИУ ВШЭ, НИТУ «МИСиС», НИУ МФТИ, Физического института им.

П.Н. Лебедева РАН, Российского квантового центра и фонда «Сколково». В МГУ им. М.В. Ломоносова, МИФИ и МФТИ организованы магистерские и аспирантские программы, а также обучение старшекласников: в 2020 г. привлечены 500 школьников. Заключены контракты с ПАО «Ростелеком» и ПАО «Сбербанк».

ПРОЕКТЫ КВАНТОВЫХ КОММУНИКАЦИЙ В РОССИИ

Создание квантовых сетей ведут следующие организации.

Факультет физической и квантовой электроники МФТИ, созданный в 1964 г., осуществляет разработки: квантовых компьютеров, функциональной электроники, нанотехнологий (выпускник факультета – нобелевский лауреат К.С. Новоселов за исследование графена), нанометрологии, нейроморфных структур, микроэлектроники, твердотельной и вакуумной СВЧ-электроники [36]. 1 ноября 2018 г. МФТИ и Российский квантовый центр предложили новый способ передачи квантовой информации между разными типами кубитов посредством электромагнитного поля. 28 марта 2021 г. в лаборатории Искусственных квантовых систем МФТИ создан первый в России квантовый сопроцессор на основе 5 сверхпроводниковых кубитов – трансмонов.

На Физическом факультете МГУ им. М.В. Ломоносова в 1978 г. в результате реорганизации кафедры волновых процессов создана Кафедра квантовой электроники (до 2001 г. – квантовой радиофизики), которая ведет разработки: квантовой и статистической оптики, спектроскопии самоорганизующихся систем, нелинейной оптики поверхности и наноструктур, сканирующей зондовой микроскопии и наноэлектроники, лазерной спектроскопии водных сред и лазерной диагностики водных экосистем, лазеров УФ диапазона и квантовой оптики, теории отклика хаотических систем, туннельных процессов в наноструктурах, электронных систем с сильной корреляцией, гиперрэлеевского рассеяния света в неупорядоченных наноструктурах, сегнетоэлектрических фазовых переходов, нелинейной оптики наноструктур, а с 1996 г. – систем квантовой коммуникации при поддержке Фонда перспективных исследований (ФПИ) и ряда министерств [37]. В сентябре 2016 г. осуществлена квантовая связь в автоматической системе квантового распределения криптографических ключей на базе стандартных линий связи ПАО «Ростелеком» между Ногинском и Павловским Посадом (в Московской области) протяженностью 32 км.

Центр квантовых технологий (ЦКТ) МГУ им. М.В. Ломоносова создан в 2018 г. в рамках Национальной технологической инициативы [38] осуществляет разработки: квантовых технологий, волоконной и атмосферной квантовой криптографии, нанофотоники, квантовой оптики, нелинейной оптики, криоэлектроники, физики холодных атомов; систем квантовой криптографии, адаптированных к волоконным линиям связи, систем оптической квантовой коммуникации по открытому пространству и оптических квантовых вычислительных систем, образовательных программ и связей с промышленными ком-

паниями. В Консорциум МГУ им. М.В. Ломоносова входят Институт физики твердого тела РАН (ИФТТ РАН), Физико-технологический институт им. К.А. Валиева РАН (ФТИ РАН), Институт общей физики им. А.М. Прохорова РАН, Институт физики полупроводников им. А.В. Ржанова СО РАН, Санкт-Петербургский государственный университет, МИФИ, МГТУ им. Н.Э. Баумана, НИУ «Московский институт электронной техники», Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, ФИЦ «Казанский научный центр РАН», Всероссийский научно-исследовательский институт автоматики им. Н.Л. Духова госкорпорации «Росатом», Центр компетенций Национальной технологической инициативы по направлению «Квантовые коммуникации» на базе НИТУ «МИСиС», АО «Информационные технологии и коммуникационные системы» (АО «ИнфоТеКС»), Учебный центр «ИнфоТеКС», АО «Концерн «Автоматика», ООО НТП «Криптософт» (г. Пенза), ООО «Авеста», ООО «ИД Электроника», межрегиональная общественная организация «Ассоциация защиты информации», компания «Иннопрактика» (Факультет фундаментальной медицины МГУ объединяет Центр национального интеллектуального резерва МГУ и Фонд поддержки научно-проектной деятельности молодых ученых «Национальное интеллектуальное развитие»), Саратовский НИГУ им. Н.Г. Чернышевского, технопарк «Кванториум» (г. Саратов).

29 мая 2019 г. Центр квантовых технологий МГУ им. М.В. Ломоносова и Центр научных исследований и перспективных разработок компании «Инфотекс» провели первый сеанс голосовой связи, защищенной квантовым распределением ключей, между офисами ЦКТ МГУ и «Инфотекса» с помощью первого российского квантового телефона ViPNet QSS Phone, входящего в разработанный за три года комплекс защищенной телефонии ViPNet Quantum Security System (ViPNet QSS). Российский квантовый телефон не подвержен атакам квантовых компьютеров, что подтверждено Центром компетенций Национальной технологической инициативы «Центр квантовых технологий» [39].

Математический институт им. В.А. Стеклова РАН (МИАН) разрабатывает математические методы квантовых технологий: квантовой криптографии, квантовых вычислений. Отдел математических методов квантовых технологий МИАН, созданный в 2018 г. на основе Лаборатории математических методов квантовых технологий (с 2016 г.), проводит исследования в областях квантовой криптографии, квантовой информатики, открытых квантовых систем, многочастичных квантовых систем, управления квантовыми системами, квантовой томографии, квантовой телепортации, адиабатических квантовых вычислений, неравновесной квантовой динамики, голографии и квантовой информации.

По проектам Российского научного фонда (РНФ) МИАН осуществляет проекты: «Математические методы для задач квантовых технологий и динамика открытых квантовых систем» (2017-2021 гг.), «Использование псевдослучайных генераторов в квантовой криптографии» (2018-2019 гг.), «Влияние взаимодействия с окру-

жением на информационные свойства квантовых каналов передачи данных» (2020-2022 гг.) [40].

ПАО «Ростелеком» развивает квантовые технологии связи, ОАО «РЖД» – квантовые коммуникации, госкорпорация «Росатом» – квантовые вычисления, госкорпорация «Ростех» – квантовые сенсоры. В декабре 2018 г. в проекте «Криптошифрование и квантовая защита данных» завершен 1-й этап тестирования комплексов передачи данных с гибридной квантово-классической защитой, подтверждена возможность использования квантового распределения ключей в сетях связи «Ростелекома»; в январе 2019 г. – 2-й этап испытаний квантовой защиты передачи данных. В мае 2019 г. «Ростелеком» и «Криптософт» испытали прототип первого облачного сервиса защиты передачи данных с квантовым распределением ключей, а «Ростелеком» и «ИнфоТеКС» – защиту передачи данных с квантовым распределением ключей на волоконно-оптической линии связи 58 км между дата-центром М10 «Ростелекома» (Москва) и Центром фотоники и квантовых материалов (Skoltech Center of Photonics and Quantum Materials, созданным в 2015 г. [41]) Сколковского университета науки и технологий (Сколтех, создан в 2011 г.). В сентябре 2020 г. «Ростелеком» и «Росатом» разработали волоконно-оптическую линию связи с применением квантового распределения ключей между двумя офисами «Росатома» в Москве, оборудования квантового распределения ключей ООО «КуРэйт» (QRate) и шифраторов 10 G ООО «Код Безопасности» при участии АНО «Консорциум «Телекоммуникационные технологии» и ПАО «Микрон». Сервис квантового распределения ключей для «Ростелекома» обеспечивает ключами шифрования и средствами криптографической защиты информации (СКЗИ) промышленные предприятия и банки.

ОАО «РЖД» отвечает за реализацию дорожной карты «Квантовые коммуникации» – в августе 2019 г. был создан Департамент квантовых коммуникаций «РЖД»; развиваются магистральные и городские сети квантовых коммуникаций в РФ. Квантовые сети в тысячи километров строятся с использованием промежуточных доверенных узлов через 80-120 км. На труднодоступных участках для связи двух наземных объектов используется технология спутникового квантового распределения ключей [42].

Российский квантовый центр (РКЦ, основан в 2011 г. в Инновационном центре «Сколково») разрабатывает систему квантовой связи для защищенной передачи информации банков и госорганов в телекоммуникационной сфере (твердотельные фотумножители, сверхчувствительные сенсоры, фемтосекундные лазеры) и медицине (сверхчувствительный магнитный кардиограф) [43]. В 2015 г. создана группа «Квантовые коммуникации». РКЦ и Лаборатория сверхпроводящих метаматериалов НИТУ «МИСиС» впервые в РФ произвели измерение кубита (2013 г.), совместно с исследователями МФТИ, МИСиС и ИФТТ РАН создали первый в РФ сверхпроводящий кубит (2015 г.), первый в мире квантовый блокчейн (2017 г.). РКЦ сотрудничает с компаниями: «КуРэйт» (основана в 2015 г. и ведет разработку программы обработки квантового распределения ключей

чей; испытана офисами АО «Газпромбанк»; протестирован прототип промышленной установки в ПАО «Сбербанк»; ведет серийное производство установок квантовой криптографии: детектор одиночных фотонов, квантовый генератор случайных чисел, твердотельный фотоумножитель, фемтосекундный лазер с диодной накачкой [44]), «С-Терра СиЭсПи» (S-Terra CSP, LLC; основана в 2003 г. для разработок и производства средств сетевой информационной безопасности [45]), «КриптоПро» (создана в 2000 г. для формирования средств криптографической защиты информации и инфраструктуры открытых ключей [46]), ООО «Амикон», ООО «Код Безопасности», ЗАО «Сверхпроводниковые нанотехнологии» (SCONTEL, основано в 2004 г. на основе Проблемной радиофизической лаборатории Московского педагогического государственного университета, имеет представителей в Китае, Японии и США [47]). В 2017 г. Российский квантовый центр разработал самый мощный в мире квантовый компьютер с инвестициями Google, IBM, Microsoft, Alibaba.

С 2020 г. на базовой кафедре Российского квантового центра в МФТИ организованы программы бакалавриата, магистратуры и аспирантуры, в НИТУ «МИСиС» при участии РКЦ – магистерская программа «Квантовые технологии материалов и устройств» и программа аспирантуры «Физика конденсированного состояния и квантовые технологии»; созданы устройства для квантовой криптографии, сверхпроводниковой и полупроводниковой космической электроники, разработано квантовое моделирование свойств материалов. Российский квантовый центр, Российская венчурная компания (РВК), МФТИ и Центр компетенций Национальной технологической инициативы «Квантовые коммуникации» НИТУ «МИСиС» реализуют программу «Управление проектами в сфере квантовых коммуникаций» [48].

Московский институт электроники и математики им. А.Н. Тихонова (создан в 1993 г. на базе Московского института электронного машиностроения, основанного в 1962 г.; в 2011 г. включен в НИУ ВШЭ) на кафедре квантовой оптики и телекоммуникаций ЗАО «Сконтел» (созданной в 2013 г.) ведет разработки сверхпроводниковых тонкопленочных микросхем, приемников на тонкопленочных сверхпроводниковых наноструктурах; осуществляет магистерскую программу «Нанoeлектроника и квантовые технологии» [49].

Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО) создал защищенный оптический маршрутизатор (SCWQC – Subcarrier wave quantum communication system) моделированного излучения с квантовым распределением ключей на боковых частотах и внедрил его в квантовых сетях Университета ИТМО (в 2014 г.), в Казани с телеком-оператором (в 2016 г.) и в Самаре с ИТ-компанией (в 2021 г.); осуществляет международные образовательные программы «Квантовые коммуникации и фемтотехнологии» (в сотрудничестве с Университетом Рочестера, США); развивает сотрудничество с ООО «Квантовые Коммуникации», компанией «СМАРТС», ООО «Кванттелеком»

(Санкт-Петербург), ООО «Корнинг», ООО НПП «Лазерные Технологии», ООО «Лазерный Центр», компаний «Vicon-Standa», ООО «Аметист Лазер», ОАО «Комета», ОАО «ЛОМО», ОАО «ГОИ им. С.И. Вавилова» [50].

Казанский квантовый центр («КАИ-КВАНТ») Казанского НИТУ им. А.Н. Туполева – КАИ (КНИТУ-КАИ) создан в 2014 г., в лабораториях квантовой памяти и квантовых коммуникаций ведет разработки квантовых технологий, квантовых методов защиты передачи и хранения информации; волоконных и интегрально оптических однофотонных технологий, оптических методов передачи квантового распределения ключей, участвует в создании городской квантовой сети (квантовый Интернет), квантовых сетей между городами Республики Татарстан, квантовой сети на большие расстояния, квантовых повторителей на основе оптической квантовой памяти, квантовых сетей между городами РФ, квантовых вычислителей и переключателей в квантовой сети, оптического квантового компьютера для квантовых сетей. Развивает международное сотрудничество с коллегами из Франции, Китая, Южной Кореи, Саудовской Аравии, Шотландии, Канады, Индии и сотрудничество с научными организациями РФ: Университетом ИТМО (разработка оптических квантовых сетей), МГУ им. М.В. Ломоносова (нанооптическая квантовая память, с 2014 г.), РКЦ (оптоволоконные методы генерации световых полей, с 2014 г.), Физико-технологическим институтом РАН им. К.А. Валиева (основан в 1988 г., Лаборатория физических основ квантовых вычислений разрабатывает квантовые компьютеры, проводит семинары «Квантовые компьютеры») [51], сотрудничает в области оптических квантовых измерений с 2014 г.); Казанским физико-техническим институтом РАН им. Е.К. Завойского Казанского научного центра РАН; Казанским федеральным университетом (теория оптических спектров неорганических кристаллов для квантовой памяти), Институтом перспективных исследований АН РТ (оптический квантовый процессинг, квантовый компьютер, с 2010 г.); КНИТУ-КАИ (новые методы обработки сигналов) [52].

Фонд перспективных исследований с 2016 г. реализует проект «Технологии обработки информации на основе сверхпроводящих кубитов» совместно с ФГУП «ВНИИА им. Н.Л. Духова», ИФТТ РАН, РКЦ, МФТИ, МИСиС, МГУ им. Н.Э. Баумана, Новосибирским государственным техническим университетом (НГТУ НЭТИ) при поддержке Министерства науки и высшего образования РФ и госкорпорации «Росатом» [53].

Национальный исследовательский Томский государственный университет осуществляет проект «Взаимодействие закрученного света с отдельными атомами и атомными ансамблями» при финансировании РНФ (2021-2023 гг.) [54].

20 февраля 2020 г. в Министерстве экономического развития РФ объявлено о разработке проекта «Квантовая долина» в Нижегородской области [55] для создания Инновационного научно-технологического центра квантовых технологий. В реализации проекта заинтересованы 50 компаний, включая Сбербанк, «Росатом», «Ростех» и «РЖД».

29 октября 2020 г. Правительство РФ утвердило перечень технологий, на которые будет распространяться особое регулирование в упрощенных правовых режимах (регуляторных песочниц) [56], а также правовая среда для тестирования новых продуктов, снижения издержек и ускорения разработок перспективных идей. В их число вошли квантовые и производственные технологии, а также нейротехнологии и технологии искусственного интеллекта, работы с Большими Данными, робототехника и сенсорика, системы распределенного реестра, беспроводная связь, виртуальная и дополненная реальность, Интернет вещей, отраслевые цифровые технологии.

30 октября 2020 г. госкорпорация «Ростех» присоединилась к проекту создания первого в мире межконтинентального канала квантовой связи протяженностью 10 тыс. км [57] специалистами Российской Федерации, Китая, Индии и ЮАР в рамках проекта БРИКС по квантовым коммуникациям при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Межконтинентальный канал квантовой связи свяжет университеты – участники проекта в ЮАР и Китае. Специалисты РФ и Индии разрабатывают волоконно-оптические волокно и коммуникации, ЮАР – головной исполнитель проекта, в Китае создают спутниковую квантовую связь. АО «Научно-производственное объединение Государственный оптический институт им. С.И. Вавилова» (ГОИ) разрабатывает лазерные системы разного назначения, включенные в перечень ведущих научно-исследовательских организаций оборонно-промышленного комплекса по направлению «Оптико-электронные приборы, системы и комплексы», утвержденный Министерством промышленности и торговли РФ 2 апреля 2009 г. ГОИ – соисполнитель научно-исследовательской работы «Спутниковая и волоконно-оптическая связь квантовых коммуникаций» по созданию волоконно-оптических элементов для формирования и трансляции оптических вихрей в приложениях квантовых коммуникаций. Головной исполнитель проекта – Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики – ведет исследования и подготовку специалистов по направлениям телекоммуникации, радиотехники, информатики и экономики при участии Казанского НИТУ им. А.Н. Туполева. Стоимость реализации проекта квантовой сети в 10 тыс. км до 2024 г. – 16,7 млрд руб.: 10 млрд – из федерального бюджета, 6,7 млрд – из внебюджетных источников, 5 млрд руб. выделит «РЖД». Затраты на строительство квантовых магистральных сетей к 2024 г. составят 12,8 млрд руб.; объем услуг в сети – 55 млрд руб. Разрабатываются сценарии использования квантовых технологий для передачи данных банков и госструктур, строительства безопасных систем Интернета вещей и управления беспилотными поездами.

19 ноября 2020 г. на заседании Научного совета при президиуме РАН «Квантовые технологии» по теме «Фундаментальные проблемы квантовых коммуникаций» с участием ученых 40 научных организаций РАН и других учреждений председатель Научного совета академик-секретарь Отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН определил направления программ развития квантовых сетей в РФ.

Представлены проекты: 1) Казанский научный центр РАН: «Квантовые повторители и квантовая память»; 2) ИФТТ РАН: «Каналы утечки в квантовой криптографии»; 3) Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН и ОАО «РЖД»: «Технологии квантовых коммуникаций»; 4) МГУ им. М.В. Ломоносова: «Постквантовая криптография» и «Атмосферные и спутниковые каналы квантовых коммуникаций»; 5) МИСиС: «Ограничения скорости квантового распределения ключей»; 6) Университет ИТМО: «Компонентная база для волоконно-оптических квантовых коммуникаций»; 7) АО «ИнфоТекС»: «Доверенные узлы в сетях квантовых коммуникаций».

Техническим комитетом «Криптографическая защита информации» создана рабочая группа по созданию постквантовых криптографических механизмов, разработке и замещению импортных комплектующих в устройствах квантовой коммуникации: блоке генерации излучения, блоке регистрации излучения, блоке кодирования. Разрабатываются базовые элементы (однофотонные источники, источники перепутанных фотонов, детекторы с разрешением числа фотонов, однофотонные преобразователи частоты, квантовая память), системы на их основе со скоростью квантового распределения ключей выше предела скорости прямой передачи [58].

19 апреля 2021 г. госкорпорацией «Ростелеком» и компанией «Транстелеком» (дочерней компанией «РЖД») с использованием оборудования Санкт-Петербургского НИУ информационных технологий, механики и оптики (Университет ИТМО), Российского квантового центра, компаний «Т8», «Системы практической безопасности», «С-Терра» построена и 8 июня введена в эксплуатацию первая в Российской Федерации квантовая линия связи между Москвой и Санкт-Петербургом протяженностью 800 км. Передача квантового распределения ключей позволяет апробировать квантовые технологии и сетевую архитектуру, стандартизировать и сертифицировать оборудование, развивать сотрудничество разработчиков, операторов связи и потребителей, обеспечивать спрос со стороны финансовых, государственных и ведомственных учреждений. Строительство этой сети предусмотрено дорожной картой развития квантовых коммуникаций, разработанной корпорацией «РЖД» и утвержденной правительством летом 2020 г., тогда же утверждено и техническое задание на создание квантовой сети между дата-центрами в Москве и Твери, а в 2021 г. начались проектно-изыскательские работы и строительство квантовой сети «РЖД» на участке Москва – Удомля [59] (административный центр Удомельского городского округа Тверской области).

ОТРАЖЕНИЕ ДОКУМЕНТОВ О КВАНТОВЫХ СЕТЯХ В БАЗАХ ДАННЫХ SCOPUS, GOOGLE SCHOLAR И ВИНТИ РАН

В базе данных Scopus [60] о квантовых сетях (на 27.04.2021) отражено 329 648 документов за 1953-2021 гг.: 2021 г. – 14 587, 2020 г. – 37 795, 2019 г. – 32 937, 2010 г. – 11 588, 2000 г. – 2611, 1990 г. – 703, 1980 г. – 159, 1970 г. – 39, 1960 г. – 2, 1953 г. – 1 документ.

По странам: на 1-м месте 85 317 документов Китая, на 2-м – 76 860 США, на 5-м – 21 786 Японии, и только на 13-м – 9944 документа Российской Федерации.

По отраслям знания: по физике – 136 020 документов, по ИТ – 57 979.

По типам документов: 240 034 статьи, 47 710 докладов конференций, 25 592 обзора, 3839 книг.

По типам источников: 268 316 статей из журналов, 40 719 материалов конференций, 11 132 монографии.

Из российских авторов отражены А.И. Иванов – 181 документ (Пензенский научно-исследовательский электротехнический институт) и В.Ю. Гаврилов – 172 (Самарский государственный медицинский университет).

По языкам: на английском – 322 835 документов, на китайском – 5665, на русском – 271, на японском – 186 документов.

По названиям источников: Proceedings of SPIE (Общество оптики и фотоники – Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers, США) – 6392 документа, Optics Express – 3453, Physical Review Letters – 3431, Lecture Notes in Computer Science, включая серии Lecture Notes in Artificial Intelligence и Lecture Notes in Bioinformatics – 2348, IEEE (Институт инженеров электротехники и электроники – Institute of Electrical and Electronics Engineers, США) Photonics Technology Letters – 1630, IEEE Access – 1469, Optics Communications – 1424, International Conference on Transparent Optical Networks – 1341, Quantum Information Processing – 936, Optical and Quantum Electronics – 912, IEEE Journal on Selected Topics in Quantum Electronics – 728, IEEE Journal of Quantum Electronics – 726, IEEE Photonics Journal – 577, Advances in Intelligent Systems and Computing – 454, IEEE Journal of Selected Topics in Quantum Electronics – 383, Communications in Computer and Information Science – 375 документов.

По организациям: Национальный научный фонд Китая (Natural Science Foundation of China) – 42 222, Китайская академия наук (Chinese Academy of Sciences) – 11 499, Министерство образования Китая (Ministry of Education of the People's Republic of China) – 9111, Японское общество развития науки (Japan Society for the Promotion of Science) – 6218, Министерство энергетики США (U.S. Department of Energy) – 5562, Токийский университет – 2919, Китайский университет науки и технологий (University of Science and Technology of China) – 2894, Пекинский университет – 2875, Российская академия наук – 2748, Стэнфордский университет – 2278, Российский фонд фундаментальных исследований – 2062, японская корпорация Nippon Telegraph and Telephone Corporation – 1935, Японское агентство науки и технологий (Japan Science and Technology Agency – JST) – 1615, МГУ им. М.В. Ломоносова – 1440, Национальный институт стандартов и технологий США (National Institute of Standards and Technology – NIST) – 1293, Российский научный фонд – 1134, Институт инженеров электротехники и электроники США (Institute of Electrical and Electronics Engineers – IEEE) – 1073, Национальный институт информационных и

коммуникационных технологий (National Institute of Information and Communications – NICT, Япония) – 960, Министерство науки и высшего образования РФ – 693 документа.

В базе данных Google Scholar по теме квантовых сетей отражены 59 авторов, по теме квантовых коммуникаций – 88 авторов [61], из них российские исследователи: В.В. Макаров (5-й в рейтинге, 5771 цитирование, 76 документов, Российский квантовый центр, МИСиС), В.В. Чистяков (40-й в рейтинге, 304 цитирования, 71 документ, Университет ИТМО), С.М. Кынев (44-й в рейтинге, 177 цитирований, 14 статей, Университет ИТМО), А.С. Мастюкова (76-я в рейтинге, 8 цитирований, 4 статьи, Российский квантовый центр, МФТИ).

В Электронном каталоге ВИНТИ РАН [62] о квантовых коммуникациях отражены 454 статьи на английском и 387 статей на русском языках и четыре монографии на русском языке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Российская Федерация, как и другие мировые технологические лидеры, развивает технологии квантового распределения ключей и реализует проект квантовой телефонии. Межконтинентальная сеть квантовой связи протяженностью 10 тыс. км развивается специалистами РФ, Китая, Индии и ЮАР в рамках проекта БРИКС по квантовым коммуникациям при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Китай – лидер по масштабам внедрения технологий квантовых коммуникаций, США делают ставку на разработку постквантовых алгоритмов криптографии, более устойчивых к кибератакам. Национальный институт стандартов и технологий США (NIST) ведет стандартизацию постквантовых решений.

В реализации национальных стратегических программ и проектов разработок квантовых технологий в Российской Федерации расширяется сотрудничество разработчиков (научных организаций), потребителей (заказчиков, компаний) и поддерживающих госорганов, развивается международное сотрудничество в рамках БРИКС, ЕС, ООН, международных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Bennett C.H., Brassard G., Crépeau C., Jozsa R., Peres A., Wootters W.K. Teleporting an unknown quantum state via dual classical and Einstein-Podolsky-Rosen channels // Physical Review Letters. – 1993. – Vol. 70. – P. 1895-1899. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.70.1895> (дата обращения: 06.05.2021).
2. Shor P.W. Algorithms for quantum computation: discrete logarithms and factoring // Proceedings 35th Annual Symposium on Foundations of Computer Science, Santa Fe, NM, USA, 20-22 Nov. 1994 // IEEE Computer Society Press. – 1994. – P. 124-134. – URL: <https://ieeexplore.ieee.org/document/365700> (дата обращения: 06.05.2021).
3. Rabin M.O. How to exchange secrets with oblivious transfer. Technical Report // Aiken Computation Lab, Harvard University, 1981. – 26 pp. – URL:

- <https://eprint.iacr.org/2005/187.pdf> (дата обращения: 05.06.2021).
4. Bennett С.Н., Brassard G. Quantum cryptography: public key distribution and coin tossing // International conference on computers, systems and signal processing. Bangalore, India, Dec. 9-12, 1984. – Vol. 1. – P. 175-179. – URL: <https://researcher.watson.ibm.com/researcher/files/us-bennet/BV84highest.pdf> (дата обращения: 05.06.2021).
 5. Ekert А.К. Quantum cryptography based on Bell's theorem // Physical Review Letters. – 1991. – Vol. 67. – P. 661-663. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.67.661> (дата обращения: 05.06.2021).
 6. Bennett С.Н. Quantum cryptography: uncertainty in the service of privacy // Science. – 1992. – Vol. 257, Issue 5071. – P. 752-753. – URL: <https://science.sciencemag.org/content/257/5071/752> (дата обращения: 05.06.2021).
 7. Bennett С.Н., Brassard G., Mermin N.D. Quantum cryptography without Bell's theorem // Physical Review Letters. – 1992. – Vol. 68. – P. 557-559. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.68.557> (дата обращения: 05.06.2021).
 8. Goldenberg L., Vaidman L. Quantum cryptography based on orthogonal states // Physical Review Letters. – 1995. – Vol. 75. – P. 1239-1243. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.75.1239>; <http://philsci-archiv.pitt.edu/564/1/paradox.pdf> (дата обращения: 05.06.2021).
 9. Mu Y., Seberry J., Zheng Y. Shared cryptographic bits via quantized quadrature phase amplitudes of light // Optics Communications. – 1996. – Vol. 123, Issues 1-3. – P. 344-352. – URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S030401895006885?via%3Dihub> (дата обращения: 05.06.2021).
 10. Bechmann-Pasquinucci H., Gisin N. Incoherent and coherent eavesdropping in the 6-state protocol of quantum cryptography // Physical Review A. – 1999. – Vol. 59. – P. 4238-4248. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevA.59.4238>; <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/9807041.pdf> (дата обращения: 05.06.2021).
 11. Inoue K., Waks E., Yamamoto Y. Differential phase shift quantum key distribution // Physical Review Letters. – 2002. – Vol. 89. – P. 037902. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.89.037902> (дата обращения: 05.06.2021).
 12. Hwang W.Y. Quantum key distribution with high loss: toward global secure communication // Physical Review Letters. – 2003. – Vol. 91. – P. 057901. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.91.057901> (дата обращения: 05.06.2021).
 13. Gisin N. Quantum gloves: physics and Information. – URL: <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0408095.pdf> (дата обращения: 05.06.2021).
 14. Acín A., Gisin N., Scarani V. Coherent pulse implementations of quantum cryptography protocols resistant to photon number splitting attacks // Physical Review A. – 2004. – Vol. 69. – P. 012309. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevA.69.012309>; <https://arxiv.org/abs/quant-ph/0302037> (дата обращения: 05.06.2021).
 15. Scarani V., Acín A., Ribordy G., Gisin N. Quantum cryptography protocols robust against photon number splitting attacks for weak laser pulse implementations // Physical Review Letters. – 2004. – Vol. 92. – P. 057901 – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.92.057901> (дата обращения: 05.06.2021).
 16. Lo H.K., Ma X., Chen K. Decoy state quantum key distribution // Physical Review Letters. – 2005. – Vol. 94. – P. 230504. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.94.230504>; – URL: <https://arxiv.org/pdf/quant-ph/0411004.pdf> (дата обращения: 05.06.2021).
 17. Как S. A three-stage quantum cryptography protocol // Foundations of Physics Letters. – 2006. – Vol. 19. – P. 293-296. – URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10702-006-0520-9> (дата обращения: 05.06.2021).
 18. Khan M.M., Murphy M., Beige A. High error-rate quantum key distribution for long-distance communication // New Journal of Physics. – 2009. – Vol. 11. – P. 063043. – URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1367-2630/11/6/063043/meta> (дата обращения: 05.06.2021).
 19. Lo H.K., Curty M., Qi B. Measurement-device-independent quantum key distribution // Physical Review Letters. – 2012. – Vol. 108. – P. 130503. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevLett.108.130503> (дата обращения: 05.06.2021).
 20. Mower J., Zhang Z., Desjardins P., Lee C., Shapiro J.H., Englund D. High-dimensional quantum key distribution using dispersive optics // Physical Review A. – 2013. – Vol. 87. – P. 062322. – URL: <https://journals.aps.org/prl/abstract/10.1103/PhysRevA.87.062322> (дата обращения: 05.06.2021).
 21. Эксперт рассказал о новом способе предотвращения киберугроз. – URL: <https://iz.ru/1128985/2021-02-24/ekspert-rasskazal-o-novom-sposobe-predotvrascheniia-kiberugroz> (дата обращения: 18.04.2021).
 22. Интервью руководителя отдела по расследованию киберпреступлений и преступлений в сфере высоких технологий СК России К.П. Комарды ИА «ТАСС». – URL: <https://sledcom.ru/press/interview/item/1529946/> (дата обращения: 18.04.2021).
 23. Совет Европы. Конвенция о преступности в сфере компьютерной информации. – URL: <https://www.alppp.ru/law/pravosudie/46/konvencija-o-prestupnosti-v-sfere-kompyuternoj-informacii---185-rus--angl-.html> (дата обращения: 18.04.2021).
 24. Quantum Flagship. – URL: <https://qt.eu/about-quantum-flagship/newsroom/flagship-kickoff-in-vienna/> (дата обращения: 07.05.2021).
 25. Противодействие использованию информационно-коммуникационных технологий в преступных целях, ООН. – URL: https://www.unodc.org/documents/Cybercrime/SG_report/V1908184_R.pdf (дата обращения: 18.04.2021).

26. Послание Президента Федеральному Собранию 01.12.2016. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/53379> (дата обращения: 21.04.2021).
27. Послание Президента Федеральному Собранию 21.04.2021. – URL: <http://kremlin.ru/events/president/news/65418> (дата обращения: 25.04.2021).
28. О национальной программе «Цифровая экономика РФ». – URL: <https://digital.ac.gov.ru/about/> (дата обращения: 02.05.2021).
29. Латухина К. Путин призвал к лидерству по технологиям будущего. – URL: <https://rg.ru/2019/07/10/putin-prizval-k-liderstvu-po-tehnologii-i-budushchego.html> (дата обращения: 19.04.2021).
30. Документы: Направление «Цифровые технологии» / Министерство цифрового развития, связи и массовых коммуникаций РФ. – URL: <https://digital.gov.ru/ru/documents/?directions=878> (дата обращения: 07.05.2021).
31. Дорожная карта развития сквозной цифровой технологии «Нейротехнологии и искусственный интеллект». – URL: <https://digital.gov.ru/uploaded/files/07102019ii.pdf> (дата обращения: 19.04.2021).
32. «Сквозные технологии» дали новые всходы. – URL: https://www.comnews.ru/content/213111/2021-02-15/2021-w07/skvozyne-tehnologii-dali-novye-vskhody?utm_source=telegram&utm_medium=general&utm_campaign=general (дата обращения: 07.05.2021).
33. Паспорт Дорожной карты развития высокотехнологичной области «Квантовые коммуникации» на период до 2024 г. – URL: <https://digital.ac.gov.ru/upload/iblock/.pdf> (дата обращения: 02.05.2021).
34. Квантовые коммуникации в России будут прокладывать «РЖД» и «Ростелеком». – URL: <https://eadaily.com/ru/news/2020/01/13/kvantovye-kommunikacii-v-rossii-budut-prokladivat-rzhd-i-rostelekom> (дата обращения: 19.04.2021).
35. От однофотонных детекторов к национальным квантовым сетям: как развиваются квантовые технологии в России? – URL: <http://1234g.ru/novosti/kvantovye-tehnologii-v-rossii> (дата обращения: 17.05.2021).
36. Факультет физической и квантовой электроники МФТИ. – URL: <https://mipt.ru/dpqe/> (дата обращения: 19.04.2021).
37. Кафедра квантовой электроники // Физический факультет МГУ им М.В. Ломоносова. – URL: <https://www.phys.msu.ru/rus/about/structure/div/div-radiophysics/chair-quantum-electronics/> (дата обращения: 17.05.2021).
38. Центр квантовых технологий МГУ им. М.В. Ломоносова. – URL: <https://quantum.msu.ru/ru/about> (дата обращения: 19.04.2021).
39. Weissberger A. Quantum Telephony Network deployed at Moscow State University using Vipnet QSS. – URL: <https://techblog.comsoc.org/2021/01/12/quantum-telephony-network-deployed-at-moscow-state-university-using-vipnet-qss/> (дата обращения: 19.04.2021).
40. Отдел математических методов квантовых технологий МИАН. – URL: http://www.mi-ras.ru/index.php?c=show_dep&id=51 (дата обращения: 19.04.2021).
41. Центр фотоники и квантовых материалов Сколтеха. – URL: <https://crei.skoltech.ru/cpqm/ru/> (дата обращения: 23.04.2021).
42. Квантовые коммуникации – это новый уровень противостояния угрозам в IT-системе «РЖД». – URL: <https://www.rzd-partner.ru/zhd-transport/interview/kvantovye-kommunikatsii-eto-novyy-uroven-protivostoyaniya-ugrozam-v-it-sisteme-rzhd/> (дата обращения: 22.04.2021).
43. Российский квантовый центр. – URL: <https://rqc.ru/about> (дата обращения: 19.04.2021).
44. QRate. – URL: <https://goqr.com/ru#about> (дата обращения: 19.04.2021).
45. S-Terra. – URL: <https://www.s-terra.ru/company/> (дата обращения: 19.04.2021).
46. КриптоПро. – URL: <https://www.cryptopro.ru/about> (дата обращения: 19.04.2021).
47. SCONTEL. – URL: <https://www.scontel.ru/ru/company/> (дата обращения: 19.04.2021).
48. Национальная технологическая инициатива. 20.35. – URL: <https://ntinews.ru/news/tsifrovaya-ekonomika/rossiyskiy-kvantovyy-tsentr-otkryl-dveri-dlya-studentov.html> (дата обращения: 21.04.2021).
49. Базовая кафедра квантовой оптики и телекоммуникаций НИУ ВШЭ. – URL: <https://miem.hse.ru/edu/ee/scontel/> (дата обращения: 22.04.2021).
50. Квантовые коммуникации и фемтотехнологии / Университет ИТМО. – URL: https://itmo.ru/ru/viewjper/74/kvantovye_kommunikacii_i_femtotehnologii.htm (дата обращения: 22.04.2021).
51. Семинары «Квантовые компьютеры» / ФТИАН им. К.А. Валиева РАН. – URL: <http://www.ftian.ru/seminars/?type=qj> (дата обращения: 22.04.2021).
52. Казанский квантовый центр. – URL: <https://kai.ru/quantumcenter> (дата обращения: 22.04.2021).
53. Технологии обработки информации на основе сверхпроводящих кубитов / Фонд перспективных исследований. – URL: <https://fpi.gov.ru/projects/informatsionnye-issledovaniya/liman/> (дата обращения: 23.04.2021).
54. РФФ: Проект «Взаимодействие закрученного света с отдельными атомами и атомными ансамблями». – URL: <https://rscf.ru/project/21-42-04412/> (дата обращения: 05.06.2021).
55. Инновационный центр «Квантовая долина» создадут в Нижегородской области. – URL: <https://www.niann.ru/?id=548777> (дата обращения: 31.05.2021).
56. Правительство утвердило перечень технологий для «регуляторных песочниц». – URL: <https://www.kommersant.ru/doc/4550567> (дата обращения: 19.04.2021).
57. Россия занялась созданием межконтинентального канала квантовой связи. – URL: https://www.cnews.ru/news/top/2020-10-30_rossiya_zanyalas_sozdaniem (дата обращения: 19.04.2021).

58. Научный совет при президиуме РАН «Квантовые технологии». – URL: <http://www.ras.ru/news/shownews.aspx?id=989c167f-6ca0-436c-affa-379bdbb40bae> (дата обращения: 19.04.2021).
59. «Транстелеком» построил квантовую сеть Москва – Петербург. – URL: <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2021/04/19/866704-transtelekom-postroil> (дата обращения: 31.05.2021).
60. Scopus. – URL: <https://www.scopus.com/> (дата обращения: 27.04.2021).
61. Google Scholar. – URL: https://scholar.google.com/citations?view_op=search_authors&hl=en&mauthor=label:quantum_communications&before_author=w2_8_2AKAAAJ&astart=0 (дата обращения: 05.06.2021).
62. Электронный каталог ВИНТИ РАН. – URL: http://catalog.viniti.ru/srch_result.aspx?IRL=QUERY+ID%3a2721255&ADV=FILTER:eARTC (дата обращения: 05.06.2021).

Материал поступил в редакцию 05.06.21.

Сведения об авторе

СУХОРУЧКИНА Ирина Николаевна – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Технологического отделения, ВИНТИ РАН, Москва.
e-mail: insukhoruchkina@mail.ru