

**Технологии координатно-временного обеспечения –
неотъемлемая часть цифровой экономики России**

А.Е. Тюлин¹, В.В. Шпак², Ю.М. Михайлов³, С.Н. Карутин⁴,

С.И. Донченко⁵, В.В. Дворкин⁵, В.Н. Климов⁵

¹Аппарат Правительства Российской Федерации, Москва, Россия

*²Министерство промышленности и торговли Российской Федерации,
Москва, Россия*

³АО «Спецхимия», Москва, Россия

*⁴АО «Центральный научно-исследовательский институт
машиностроения», г. Королев, Московская область, Россия*

*⁵ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт физико-
технических и радиотехнических измерений», п. Менделеево,
Московская область, Россия*

*Автор, ответственный за переписку: Сергей Николаевич Карутин,
KarutinSN@tsniimash.ru*

В работе проведен анализ требований потребителей цифровой экономики к услугам определения пространственно-временного положения. Рассмотрено состояние и перспективы развития существующих систем и комплексов координатно-временного обеспечения. Предложена архитектура единой системы координатно-временного обеспечения как сложной информационной системы, обеспечивающая предоставление навигационных государственных услуг. В рамках предложенной архитектуры обосновано построение средств формирования национальной шкалы времени UTC(SU), переход к единой государственной геоцентрической системе координат на основе ПЗ-90.11, а также средства доставки потребителям

параметров шкалы времени и системы координат посредством системы ГЛОНАСС и наземных средств формирования искусственных радионавигационных полей. Обоснована необходимость консолидации процессов выработки рекомендации для руководства Российской Федерации и управления действиями органов исполнительной власти в целях реализации единой научно-технической политики в сфере координатно-временного обеспечения.

***Ключевые слова:** координатно-временное обеспечение, шкала времени, система координат, ГЛОНАСС, наземные радионавигационные системы*

Position and timing technologies are essential part of digital economy

A.E. Tyulin¹, V.V. Shpak², Y.M. Mikhailov³, S.N. Karutin⁴,

S.I. Donchenko⁵, V.V. Dvorkin⁵, V.N. Klimov⁵

¹Russian Federation Government apparatus, Moscow, Russia

²Ministry of industry and trade of Russian Federation, Moscow, Russia

³JSC «Spetskhimiia», Moscow, Russia

*⁴JSC «Central science and research institute of machine building»,
Korolev, Moscow region, Russia*

⁵FSUE «All-Russian Scientific Research Institute for Physical-Engineering and Radiotechnical Metrology», Mendeleevo, Moscow region, Russia

Corresponding author: Sergey N. Karutin, KarutinSN@tsniimash.ru

The paper analyzes the requirements of consumers of the digital economy for the services of determining the spatial and temporal position. The state and prospects of development of existing position and timing systems and complexes are considered. The architecture of a united position

and timing support system as a complex information system providing navigation public services is proposed. Within the framework of the proposed architecture, the construction of means for the formation of the national UTC(SU) time scale, the transition to a unified state geocentric coordinate system based on the PZ-90.11, as well as means for delivering time scale and coordinate system parameters to consumers through GLONASS and ground-based means for the formation of artificial radio navigation fields is justified. The necessity of consolidating the processes of developing recommendations for the leadership of the Russian Federation and managing the actions of executive authorities in order to implement a unified scientific and technical software is substantiated.

Key words: *position and timing, time scale, reference frame, GLONASS, ground based radionavigation systems*

Текущий этап развития экономики характеризуется ускорением процессов информационного взаимодействия, повышения энергосбережения и персонализации процесса потребления товаров и услуг. Создаваемая цифровая экономика будет характеризоваться кратчайшими путями перевозки населения и товаров, минимизацией потерь вырабатываемой различными источникам генерации электроэнергии, высокой эффективностью сельскохозяйственной деятельности и т.д. Достижение указанных целей возможно только при наличии у государства высокоточной национальной шкалы времени UTC(SU), единой государственной геоцентрической системы координат, точной трехмерной модели территории геополитических интересов, средств доставки параметров шкалы времени и системы координат в соответствующую аппаратуру потребителя, которая позволяет определять пространственно-временное состояние в любой

точке на поверхности Земли и водной поверхности, а также в околоземном пространстве (Рис. 1).

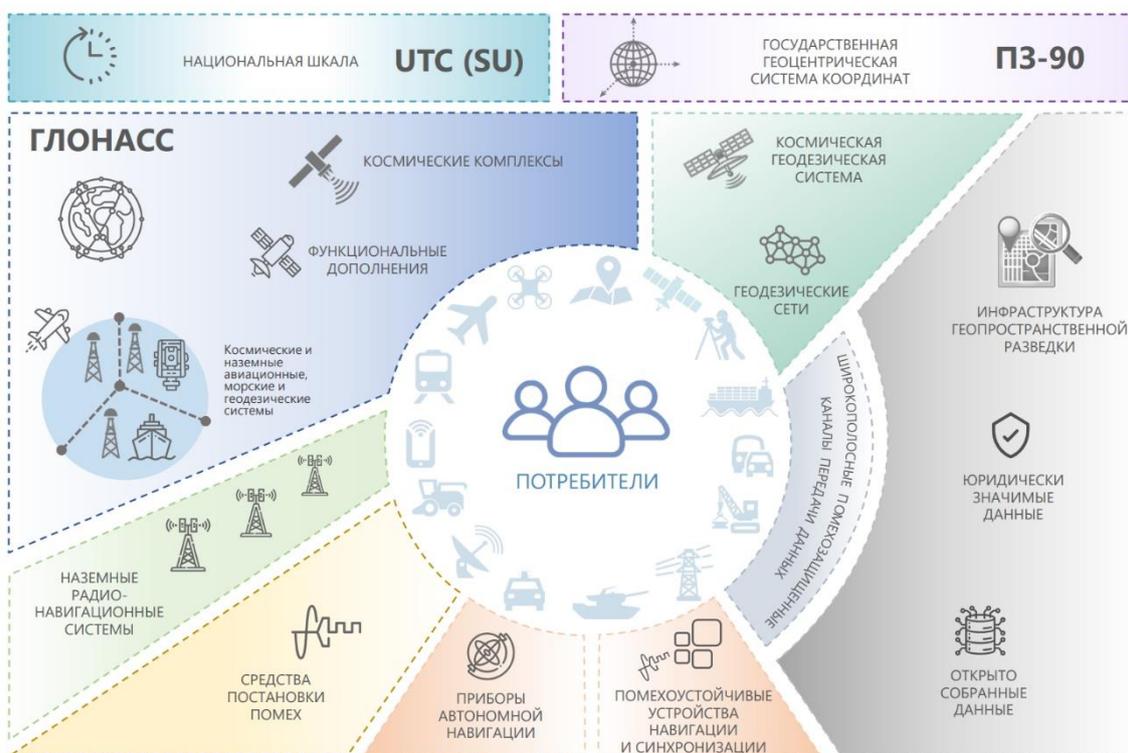


Рисунок 1. Координатно-временное обеспечение Российской Федерации

В этих условиях с целью сохранения обороноспособности, национальной безопасности, экономической самостоятельности и независимости, особое значение играет наличие в Российской Федерации собственных и самодостаточных современных средств координатно-временного обеспечения (КВО), применение которых позволяет стране сохранять свой политический и экономический суверенитет.

Российская Федерация обладает достаточно высоким потенциалом в сфере КВО за счет наличия собственной национальной шкалы времени UTC(SU) и двух государственных геодезических систем координат ПЗ-90.11 и ГГСК-2011, системы ГЛОНАСС, как средства доставки параметров UTC(SU) и координат в ПЗ-90.11.

Однако за последние 30 лет зарубежные страны, в первую очередь КНР, США и страны ЕС, сделали мощный рывок в развитии собственных средств КВО, в результате услуги КВО предоставляют уже четыре глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) – ГЛОНАСС (РФ), BDS (КНР), GPS (США) и Galileo (ЕС), а также две региональные навигационные спутниковые системы – QZSS (Япония) и NavIC (Индия).

Ввиду необходимости комплексного и взаимоувязанного решения вопросов КВО в интересах потребителей с помощью различных отечественных и зарубежных систем, как наземных, так и космических, и в силу того, что при обеспечении функционирования ГНСС требуется решение ряда фундаментальных задач небесной механики, геодезии, геодинамики, а также учитывая расширяющийся спектр применения технологий КВО в различных областях человеческой деятельности, существует необходимость рассматривать все средства, участвующие в решении задач КВО, в составе единой системы (ЕС) КВО.

ЕС КВО является сложной самодостаточной интегрированной системой, состоящей из взаимосвязанных и взаимодополняющих элементов и структур (системы знаний, технических, методических, программно-методических средств, регламентирующей документации, организационных мероприятий и т.д.), средств их воспроизведения и поддержания, которая позволяет определять пространственно-временное состояние объектов жизнедеятельности в необходимых потребителям условиях с требуемыми характеристиками.

Потребителями КВО востребованы следующие характеристики [1]:

глобальность и доступность, т.е. возможность определения координат и временной синхронизации в любой точке Земли и околоземного пространства;

непрерывность, т.е. способность определения координат и временной синхронизации в любой момент времени;

целостность, т.е. гарантия определенного уровня характеристик услуг определения координат и временной синхронизации, при превышении которых потребитель будет предупрежден о сбое в работе отдельных элементов ЕС КВО в пределах установленного интервала времени;

отсутствие ограничений на количество обслуживаемых абонентов;

высокая точность пространственно-временных определений, под которыми понимают определение (оценку) трех пространственных координат, трех составляющих вектора скорости и текущего времени;

помехоустойчивость, т.е. способность определения координат и временной синхронизации в первую очередь подвижных объектов в условиях преднамеренных и непреднамеренных помех.

Требования гражданских потребителей к услугам КВО постоянно возрастают и обобщенные их значения с вероятностью 0,68 в перспективе до 2040 года приведены в таблице 1.

Техническую основу ЕС КВО для большей части гражданских и специальных потребителей составляют отечественная система ГЛОНАСС и зарубежные ГНСС. Система ГЛОНАСС включает космические комплексы, функциональные дополнения, средства фундаментального и метрологического обеспечения, а также комплексы навигационной аппаратуры потребителя (НАП) и средств

управления доступом гражданских потребителей к навигационным услугам.

Таблица 1. Перспективные требования потребителей к КВО

Характеристика	2025	2030	2040
Погрешность определения координат, м	0,03 – 2,76	0,03 – 2	0,03 – 1,7
Погрешность определения скорости, м/с	0,007	0,005	0,004
Погрешность временной синхронизации, нс	6	4	2
Доступность для углов маскирования до 25°, %	100		
Целостность, с:			
оборудованные аэродромы	2		
необорудованные аэродромы	6		
Помехоустойчивость к маскирующим помехам, дБ	90		

Космические комплексы обеспечивают предоставление потребителям базовой услуги системы ГЛОНАСС, которая основана на искусственном радионавигационном поле, формируемом навигационными космическими аппаратами (НКА) на различных околоземных орбитах. Базовая услуга позволяет потребителям определять абсолютные координаты в государственной геоцентрической системе координат ПЗ-90.11 и время в национальной шкале времени UTC(SU). С момента запуска первого НКА «Глонасс» в 1982 году пройдено несколько важных этапов их модернизации. Четвертое поколение НКА, получивших условное обозначение

«Глонасс-К2», предоставляет гражданским потребителям использовать для получения базовой услуги 5 сигналов (2 с частотным разделением сигналов НКА и 3 с кодовым). Возможности данных НКА позволяют преодолеть целый ряд вызовов, которые стоят перед ЕС КВО.

Решение увеличить величину расхождения между шкалой времени, которая рассчитывается на основе угла поворота Земли (UT1), и Всемирным координированным временем (UTC) на значение более 0,9 с [2] требует изменения состава цифровой информации, передаваемой в навигационном сигнале НКА. Новые сигналы системы ГЛОНАСС с кодовым разделением за счет гибкой структуры передачи строк обеспечивают передачу любой величины (UT1-UTC) в отличие от традиционных сигналов с частотным разделением, где это расхождение ограничено 0,9 с. Указанные обстоятельства требуют полного перехода на новые сигналы к 2040 году.

Программа развития космических комплексов предполагает создание к 2035 году орбитальной группировки из 6 НКА на геосинхронных наклонных орбитах и к 2040 году группировки из 240 НКА на низких круговых орбитах высотой до 1100 км. Подобная многоуровневая группировка, использующая объединенный наземный сегмент космических комплексов, обеспечит единство передачи времени и требуемую потребителям точность.

Помимо космических комплексов Российская Федерация имеет импульсно-фазовую радионавигационную систему (ИФРНС) «Чайка» [3], ведутся работы по развертыванию локальных наземных радионавигационных систем [4] которые обеспечат повышение доступности навигационных услуг в условиях постановки помех. Вся совокупность средств формирования искусственных радионавигационных полей позволяет выделить в составе ЕС КВО

основной элемент – комплекс средств формирования радионавигационных полей. Задачей данного комплекса является предоставление базовой навигационной государственной услуги.

Наличие собственного радионавигационного поля создает основу для развития комплекса функциональные дополнений, объединяющего различные системы и подсистемы, реализующие хорошо развитые методы повышения точности и обеспечения целостности координатных определений [5].

Отечественные функциональные дополнения предоставляют три навигационные услуги – повышенной точности и надежности, относительной навигации и высокой точности.

Услуга повышенной точности и надежности предоставляется морскими, авиационными и железнодорожными дифференциальными подсистемами и системой дифференциальной коррекции и мониторинга (СДКМ), а также посредством радиосигналов ИФРНС. Указанные подсистемы и СДКМ были развернуты до 2014 года и созданы с преимущественным использованием зарубежного оборудования, которое обеспечивает общемировой уровень предоставления услуги повышенной точности и надежности в условиях отсутствия помех различного происхождения. Услуга СДКМ также характеризуется ограниченной зоной охвата в следствии ограниченного состава орбитальной группировки КА на геостационарной орбите (ГСО) многофункциональной космической системы ретрансляции «Луч». Для полноценного выполнения требований потребителей к СДКМ необходимо двухкратное покрытие территории обслуживания (до 70° с.ш.) сигналами КА на ГСО, что требует не менее пяти КА равномерно расположенных на данной орбите. В настоящее время в состав группировки СДКМ входит два КА МКСР «Луч» и для

полноценного развертывания запланирован запуск еще одного КА типа «Луч-5» и двух специализированных КА «Глонасс-Р», способных передавать потребителю информацию посредством радиосигналов в диапазонах L1, L3 и L5.

Активное освоение арктической зоны требует расширения зоны получения услуги повышенной точности и надежности выше 70° с.ш., которое может быть достигнуто за счет использования инфраструктуры наземных средств. В первую очередь ИФРНС «Чайка», которая включает в свой состав российско-американскую, северную и северно-западную цепи. Наличие 10 станций создает прекрасную основу для гарантированной доставки потребителям необходимых данных для повышения точности и обеспечения целостности навигации.

Услуга относительной навигации предоставляется сетями станций различной ведомственной принадлежности, которые взаимодействуют на национальном уровне через федеральный центр сбора, хранения и применения навигационной информации, созданный Госкорпорацией «Роскосмос» в 2020 году. В настоящее время таким образом объединены сети станций Госкорпорации «Роскосмос», Росстандарта, Геофизической службы РАН, ОАО «РЖД», Росреестра и Росгидромета. Потребители услуги относительной навигации в результате создания федерального центра получили инфраструктуру доступа к данным со станций на всей территории Российской Федерации вне зависимости от их ведомственной принадлежности.

Внедрение технологий беспилотного вождения различных транспортных средств, в первую очередь в сельском хозяйстве и проектах по добычи полезных ископаемых, основано на услуге высокой точности, позволяющей определять пространственное положение с погрешностью менее 0,1 м (с вероятностью 0,68) в глобальном

масштабе. В результате создания в 2020 году глобальной системы высокоточного определения навигационной и эфемеридно-временной информации (СВО ЭВИ) для гражданских потребителей Российская Федерация обеспечила потребителям системы ГЛОНАСС открытый доступ к возможности точно определить пространственные положения без привязки к конкретной станции в наземной сети [6].

Отличительной особенностью современного этапа развития технологий КВО является возможность использования средств радиоэлектронного подавления (РЭП) сигналов системы ГЛОНАСС и зарубежных ГНСС. В результате потребители могут лишаться доступа к базовой и, как следствие, ко всем остальным навигационным услугам.

Современная навигационная аппаратура обладает определенным уровнем помехоустойчивости, базирующимся на свойствах излучаемых НКА сигналов [1]. Лучшие отечественные и зарубежные образцы НАП способны сохранять работоспособность в условиях постановки помех до уровня в 46 дБ выше уровня сигнала НКА. Однако в условиях системного использования источников помех для защиты населения, объектов экономики и инфраструктуры, защиты национального суверенитета эти уровни многократно превышаются. Как следствие для сохранения работоспособности в подобных условиях используются различные методы повышения помехоустойчивости, среди которых наибольший эффект обеспечивает пространственно-временная обработка сигналов (ПВОС) НКА [7]. Важной особенностью ПВОС является ее инвариантность к используемым сигналам – эффективность одинакова как для сигналов с санкционированным, так и открытым доступом.

В результате использования ПВОС в гражданской НАП уровень ее помехоустойчивости возрастает до уровней более 90 дБ, что

достаточно для обеспечения работоспособности не только сейчас, но и в дальнейшей перспективе. Оборот подобного гражданского оборудования является предметом государственного регулирования и для решения данной задачи ЕС КВО должна включать комплекс учета и регистрации средств помехоустойчивой навигации и синхронизации гражданских потребителей системы ГЛОНАСС (КУРС ГЛОНАСС).

Основной предоставления описанных выше услуг является фундаментальное обеспечение, включающее средства, реализующие систему координат, и национальную шкалу времени, а также комплекс определения параметров вращения Земли.

В отличии от общемировой практики в Российской Федерации установлены две государственные системы координат [8, 9] – геодезическая система координат 2011 года (ГСК-2011), только для геодезических и картографических работ, и общеземная геоцентрическая система координат «Параметры Земли 1990 года» (ПЗ-90.11) для решения навигационных задач, геодезического обеспечения космических полетов и выполнения геодезических и картографических работ в интересах обороны.

Установление и распространение ГСК-2011 осуществляется посредством государственной геодезической сети, ограниченной территорией Российской Федерации, а ПЗ-90.11 устанавливается и распространяется с использованием космической геодезической сети и государственной геодезической сети. Кроме того, для установления и распространения ПЗ-90.11 могут привлекаться наземные измерительные средства системы ГЛОНАСС, располагающиеся в глобальном масштабе. Поскольку параметры движения НКА системы ГЛОНАСС передаются потребителям в ПЗ-90.11, то используемая при выполнении геодезических и картографических работ НАП определяет

координаты в данной системе и затем выполняется процедура перевода полученных координат в ГСК-2011. Указанные обстоятельства делают очевидным вывод о необходимости перехода Российской Федерации на единую государственную геоцентрическую систему координат.

Развитие технических средств Государственной службы времени и частоты вывело Российскую Федерацию в мировые лидеры по точности хранения шкалы времени. Начиная с 2022 года вес измерений Государственного эталона времени и частоты составляет порядка 20% в формировании Всемирного координированного времени UTC (Рис. 2).

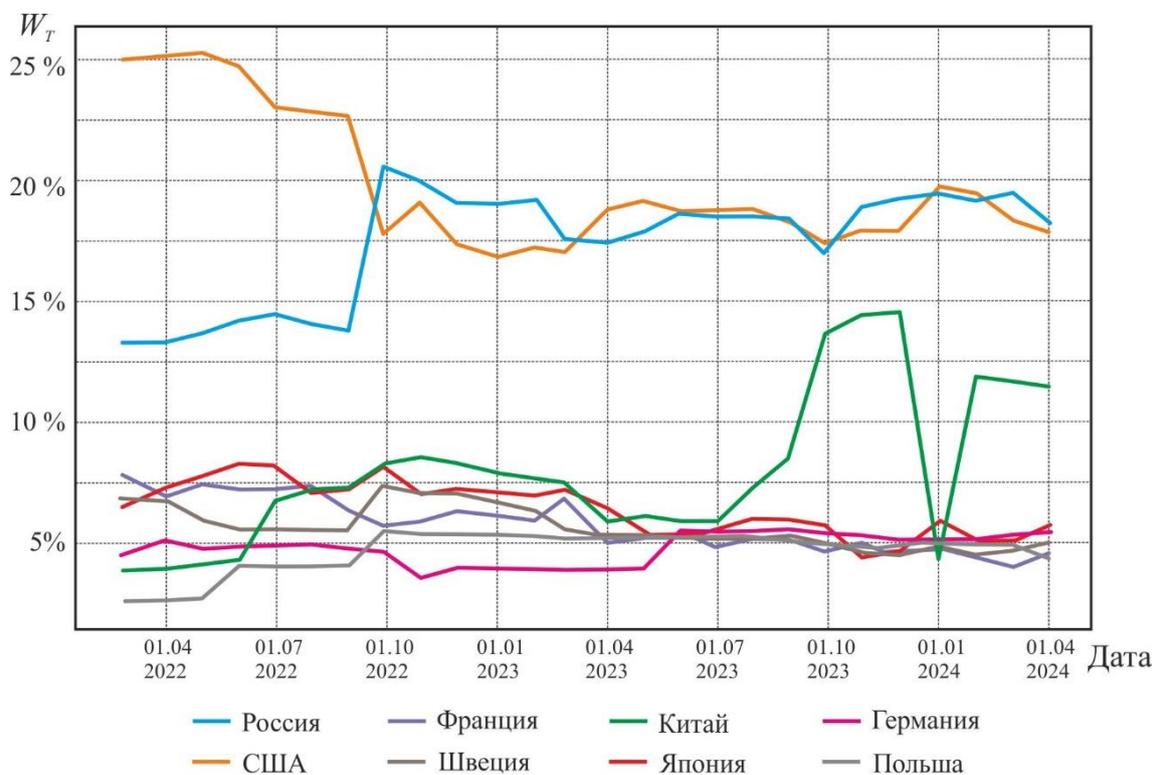


Рисунок 2. Динамика вклада основных мировых лабораторий времени в формирование шкалы времени UTC за 2022–2023 годы

Протяженность территории Российской Федерации позволила создать радиоинтерферометрическую сеть со сверхдлинными базами (РСДБ) «Квазар-КВО», которая обеспечивает фундаментальные и проблемно-ориентированные исследования данными для построения

небесной и земной систем координат, динамических систем координат, определения параметров вращения Земли, картографирование естественных радиоисточников (квазаров и пульсаров), синхронизации атомных эталонов времени на больших расстояниях.

В результате взаимодействия составных частей ЕС КВО Российской Федерации потребители получают навигационные государственные услуги и для обеспечения их гарантированного качества необходимо организовать их метрологическое обеспечение, а также нормативно-правовое и нормативно-техническое регулирование.

Активное развитие технологий КВО привело к отставанию степени их нормативно-правового и нормативно-технического регулирования этой отрасли, по целому ряду направлений федеральные законы и стандарты либо отсутствуют, либо охватывают не более 20%

Объединение всех элементов в единую систему позволяет определить облик ЕС КВО, представленный на рисунке 3. Сочетание функционала 11 федеральных органов исполнительной власти, которые должны обеспечивать сбалансированное развитие всех составных частей этой сложной системы, требует координации работ по развитию ЕС КВО на уровне Правительства Российской Федерации.

В настоящее время развитие основных элементов ЕС КВО ведется в рамках федерального проекта «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС» государственной программы «Космическая деятельность России». Однако развитие НАП, комплексов фундаментального и метрологического обеспечения, выпуск нормативно-правовых и нормативно-технических документов осуществляется в рамках иных государственных программ.



Рисунок 3. Структура ЕС КВО

Исторически (около 30 лет) системное рассмотрение научных вопросов в области координатно-временного и навигационного обеспечения в России обеспечивается научным советом Российской академии наук по проблеме «Координатно-временного и навигационного обеспечения» (Совет) [10]. Совет рассматривает на постоянной основе на своих заседаниях многоаспектные проблемы, касающиеся состояния и развития научных вопросов, лежащих в основе КВНО, занимается организацией и проведением Всероссийских конференций по данной проблематике, последняя из которых (десятая) состоялась 17 – 21 апреля 2023 г. в г. Санкт-Петербург в стенах базовой организации Совета – Институте прикладной астрономии Российской академии наук, а также обеспечивает решение иных профильных научных и экспертных задач. Следует отметить, что в Решении, принятом Советом по итогам конференции в целях повышения эффективности средств КВО, была особо отмечена целесообразность расширения взаимодействия международного сотрудничества со странами БРИКС с использованием их потенциала и территории, включая создание РСДБ стран БРИКС для решения задач космической геодезии [11].

В начале статьи было уже отмечено, что в основе КВО лежит фундаментальное обеспечение потребителей данными о системе координат и шкале времени.

В целях организации фундаментального КВО создана архитектура международных организаций (служб):

Международное бюро мер и весов (Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), франц.);

Международная ассоциация геодезии (International Association of Geodesy (IAG), англ.);

Международная служба глобальных навигационных спутниковых систем (International GNSS service (IGS), англ.);

Международная служба лазерной локации (International Laser Ranging Service (ILRS), англ.);

Международная служба радиointерферометрии со сверхдлинными базами для геодезии и астрометрии (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry (IVS), англ.);

Международная служба вращения Земли (International Earth Rotation and Reference System Service (IERS), англ.).

В настоящее время указанными организациями проводится дискриминационная политика в отношении Российской Федерации, в частности:

- ILRS прекратила проводить измерения и формирование ряда продуктов по космическим аппаратам (КА) ГЛОНАСС с ряда станций;

- в докладе председателя IVS за 2021 – 2022 годы включены пункты «о российской агрессии» и о невозможности взаимодействия по ряду вопросов;

- IERS исключила российские станции из расчетов общих продуктов.

Указанные действия создают потенциальную угрозу ограничения доступа научных организаций РАН и специализированных предприятий Госкорпорации «Роскосмос» к данным, необходимым для полноценного КВО потребителей в Российской Федерации.

По поручению Совета специалистами РАН, Госкорпорации «Роскосмос» и Росстандарта проведена оценка качества КВО потребителей при условии замены указанных выше служб на аналогичные, объединяющие технические средства и центры анализа на территории стран БРИКС, который показал:

максимальное смещение оценки Всемирного координированного времени UTC при переходе с 87 основных национальных реализаций в ВРМ на 13 реализаций в странах БРИКС возрастет с ± 3 нс до $\pm 3,8$ нс, что обеспечит текущие и перспективные требования потребителей;

сеть станций приема сигналов ГНСС на территории стран БРИКС обеспечит 5 кратное покрытие всех подспутниковых точек КА ГЛОНАСС на протяжении 87 % времени движения, что позволит проводить апостериорную оценку эфемеридно-временной информации КА ГЛОНАСС с погрешностью менее 0.08 м при использовании 30 станций БРИКС вместо 100 станций IGS;

переход с 37 станций лазерной локации ILRS на сегмент из 18 станций БРИКС обеспечит полную независимость по формированию координат геоцентра, статических и динамических коэффициентов гравитационного поля Земли и фундаментальных физических констант;

сеть из 12 станций РСДБ БРИКС позволит рассчитывать параметры станций в Международной земной системе отсчета с погрешностью 0.001 м, которая аналогична погрешности расчета по сети из 34 станций IVS.

Аналогичная ситуация и по работе геодезической ассоциации и службы вращения Земли.

Указанные обстоятельства создают реальные предпосылки для гарантированного решения задач фундаментального КВО Российской Федерации в формате БРИКС.

С учетом стратегического значения ЕС КВО в современных условиях для обеспечения обороны и безопасности Российской Федерации приобретает координация всех научных и практических вопросов в области КВО также со стороны научно-технического совета Военно-промышленной комиссии Российской Федерации.

Иерархическая структура управления, представленная на рисунке 4, позволяет обеспечить проведение единой государственной политики в сфере КВО.

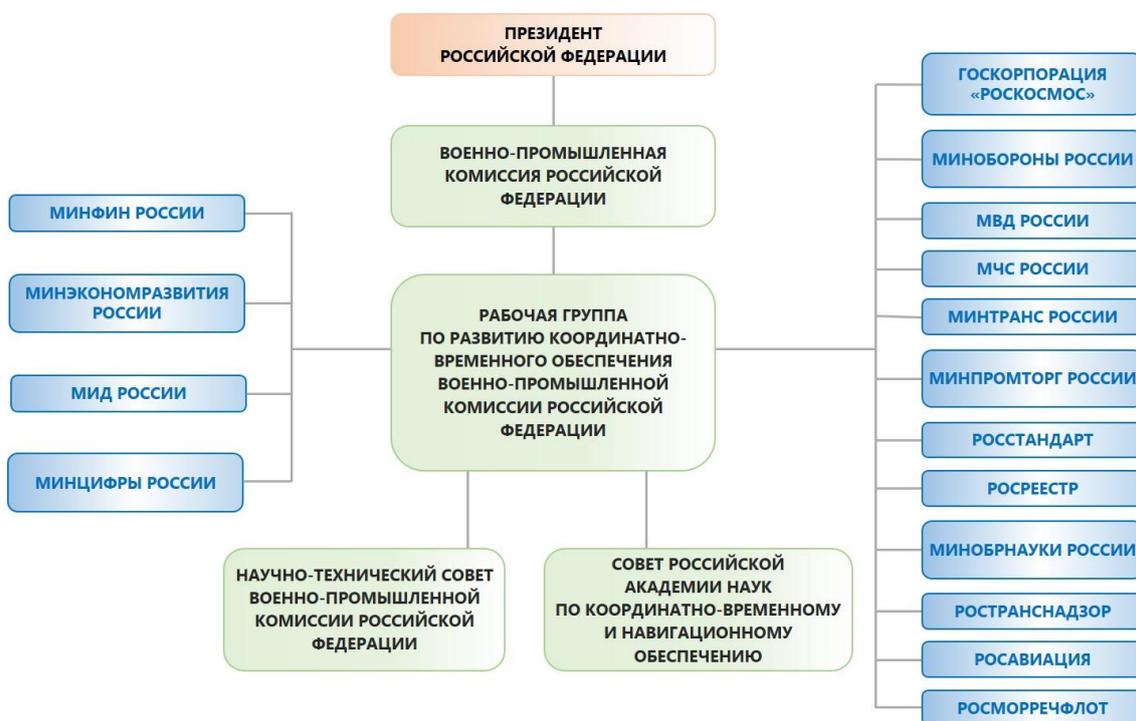


Рисунок 4. Схема управления развитием ЕС КВО

В заключении необходимо отметить, что Российская Федерация обладает основными элементами ЕС КВО, которые обеспечивают эффективную цифровую трансформацию экономики.

Повысить динамику развитию ЕС КВО возможно в первую очередь за счет сокращения административных барьеров и повышения оперативности межведомственного взаимодействия при развитии составных частей системы под эгидой Военно-промышленной комиссии Российской Федерации.

Список литературы

1. ГЛОНАСС. Модернизация и перспективы развития. / Под ред. А.И. Перова. – М.: Радиотехника, 2020. – 1072 с.
2. Определение шкалы времени и распространение сигналов времени с использованием систем радиосвязи. Резолюция 655 // Всемирная конференция радиосвязи, Дубай, 2023. – 4 с.
3. Писарев С.Б. Проблемы и перспективы совершенствования координатно-временного и навигационного обеспечения в Арктической зоне Российской Федерации // Радионавигация и время: Труды СЗРЦ Концерна ВКО «Алмаз-Антей». – 2021. – № 8(16). – С. 25 – 36.
4. Корнеев И.Л., Кузнецов А.С., Королев В.С. Режимы работы локальной системы навигации в проекте «Консул». Потребители системы навигации в проекте «Консул» // Наноиндустрия. Спецвыпуск. – 2021. – Т. 14(107) – С. 57 -59.
5. Карутин С.Н., Власов И.Б., Дворкин В.В. Дифференциальная коррекция и мониторинг глобальных навигационных спутниковых систем. – М.: Издательство Московского университета; ГАЛЕРИЯ, 2014. – 464 с.
6. Брагинец В.Ф., Жуков А.Н., Пасынков В.В., Федотов А.А. Проблемные вопросы глобального высокоточного координатно-временного обеспечения потребителей в реальном масштабе времени // Труды Института прикладной астрономии РАН. – 2015. – Т. 35. – С. 53 – 59.
7. Карутин С.Н., Харисов В.Н., Павлов В.С. Синтез помехоустойчивого пространственно-временного фильтра для высокоточных измерений

- навигационных параметров по сигналам глобальных навигационных спутниковых систем // Измерительная техника. – 2020. – № 6. – С. 52 – 60.
8. Федеральный закон от 30 декабря 2015 г. № 431-ФЗ «О геодезии, картографии и пространственных данных и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации».
 9. Постановление Правительства Российской Федерации от 24 ноября 2016 г. № 1240 «Об установлении государственных систем координат, государственной системы высот и государственной гравиметрической системы».
 10. Постановление президиума РАН от 21 июня 2005 г. № 174 «Об организации Научного совета РАН по проблеме «Координатно-временное и навигационное обеспечение».
 11. Протокол заседания научного совета РАН по проблеме «Координатно-временное и навигационное обеспечение» от 18 апреля 2023 г. № 2.