

DOI: <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2026.4.1>

УДК: 004.942

ПРОБЛЕМА ИНТЕРОПЕРАБЕЛЬНОСТИ В ОБЛАСТИ ЦИФРОВОГО НЕБА

Д.М. Мельник^{1,4}, В.Р. Милов^{2,3}, А.Я. Олейников⁴ И.В. Скрипник², В.А. Черепенин⁴

¹АО «Эколибри»
125167, Москва, Ленинградский пр-т, 37, БЦ «Аэродом»

²ООО НПП «ПРИМА»,
603950, Нижний Новгород, Сормовское шоссе, д. 1Ж

³Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева,
603155, Нижний Новгород, ул. Минина, 24

⁴ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН,
125009, Москва, ул. Моховая, 11, стр.7

Статья поступила в редакцию 15 апреля 2026 г.

Аннотация. Рассмотрена проблема интероперабельности применительно к «Цифровому небу». Отмечается, что современное понятие Цифрового неба возникло вследствие интенсивного развития и применения беспилотной авиации. На основе обобщения доступных отечественных и зарубежных материалов сформулировано определение Цифрового неба и отмечается первостепенная важность обеспечения интероперабельности. Рекомендовано применить предложенную ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН технологию обеспечения интероперабельности к разработке и внедрению Цифрового неба России, дополненную использованием цифрового двойника и внести соответствующее требование в Концепцию Цифрового неба России.

Ключевые слова: цифровое небо, беспилотная авиация, интероперабельность, Концепция, стандарты, безопасность полетов, бесшовное небо, цифровой двойник.

Автор для переписки: Мельник Дмитрий Михайлович, pk206@bk.ru

Введение

В настоящей статье рассмотрена проблема интероперабельности применительно к понятию «Цифровое небо». Понятие Цифровое небо в современном понимании появилось несколько лет назад в связи с интенсивным развитием и применением беспилотной авиации. Следует заметить, что этот термин появился около 20 лет назад, применительно к области астрономии [1]. В области астрономии также необходимо обеспечение интероперабельности, и в этом отношении между современным и более ранним понятиями есть общность [2], но в данной статье этот вопрос не рассматривается.

Напомним общепринятое определение интероперабельности: «Интероперабельность – способность двух или более информационных систем или компонентов к обмену информацией и к использованию информации, полученной в результате обмена» (ГОСТ Р 59796 – 2021, ГОСТ Р 55062-2012/2021, ISO/IEC/IEEE 24765-2010). В основе обеспечения интероперабельности лежит использование наборов информационно-коммуникационных стандартов (ИКТ-стандартов – профилей). Подчеркнем, что использование ИКТ-стандартов – необходимое, но недостаточное условие обеспечения интероперабельности.

Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН (ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН) ведет систематизированные фундаментальные и прикладные работы по интероперабельности начиная с 2007 г. Институтом предложен подход к обеспечению интероперабельности для информационных систем самого широкого класса, зафиксированный в ГОСТ Р 55062-2012/2021. В связи с чем на ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в 2014 г. Росстандартом возложено ведение подкомитета «Интероперабельность» ПК206 в рамках технического комитета «Информационные технологии» ТК022. Первая статья по актуальности проблеме интероперабельности в области беспилотной авиации была опубликована от имени ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН в 2019 г. [3]. Последняя по срокам обширная статья на эту тему совместно с представителями промышленности была опубликована в конце 2025 г. [4].

Настоящая статья содержит обзор состояния работ по проблеме интероперабельности в Цифровом небе за рубежом и в РФ. Показано, что Цифровое небо нельзя построить без обеспечения интероперабельности. Сделана попытка применить предложенную ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН технологию к построению Цифрового неба России, дополненную использованием цифрового двойника, функционирующего с использованием искусственного интеллекта, а также предложено внести соответствующее требование в Концепцию Цифрового неба России.

1. Цифровое небо в эпоху беспилотной авиации

В соответствии с [5] понятие «Цифровое небо» включает в себя концепцию создания единой сети передачи и обработки данных, объединяющей низкоорбитальные спутниковые группировки и летательные аппараты (пилотируемые и беспилотные) с использованием искусственного интеллекта, наземный транспорт и наземную инфраструктуру для управления Цифровым небом.

Совершенно очевидно, что создание Цифрового неба открывает большие перспективы для развития многих отраслей экономики, но при этом возникает много проблем различного характера, в том числе, как технического, так и правового. Основная проблема состоит в обеспечении безопасности полетов, поскольку, беспилотная авиация «встраивается» в воздушное пространство, где присутствуют пилотируемые аппараты – самолеты и вертолеты. Обеспечение безопасности полетов требует создания системы управления безопасностью полетов летательных аппаратов, а следовательно системы связи между всеми компонентами Цифрового неба.

1.1. Состояние за рубежом

Работы по Цифровому небу ведутся во многих странах, в том числе в Китае [6] и Индии [7]. Наиболее полная информация имеется по странам Евросоюза [8]. В документах Евросоюза рассматриваются технические, правовые и экономические аспекты. Обобщая материалы Евросоюза, можно сказать, что Цифровое небо должно:

- иметь систему организации воздушного движения, обеспечивающую безопасность полетов, построенную с использованием искусственного интеллекта;
- иметь сетцентрическую архитектуру для ускорения обмена информацией между всеми его компонентами;
- использовать цифровые двойники (ЦД) для моделирования процессов в Цифровом небе;
- учитывать взаимодействие между гражданскими и государственными уполномоченными органами, т.е. Цифровое небо имеет двойное назначение.

С точки зрения данной работы особо необходимо отметить, что в документах по Цифровому небу Европы в явной форме подчеркивается важность обеспечения интероперабельности между всеми компонентами Цифрового неба, а также необходимость разработки стандартов для обеспечения интероперабельности. Чтобы убедиться в этом, достаточно набрать в поисковой системе (European Digital Sky, interoperability). Обнаружится ряд документов, в которых подчеркивается важность разработки стандартов для обеспечения интероперабельности, необходимость тестирования компонентов Цифрового неба на интероперабельность.

1.2. Состояние в России

В России, в связи с интенсивным развитием беспилотной авиации, также как и в других странах, ведутся работы по созданию Цифрового неба. АНО «Платформа НТИ» совместно с АО «ГЛОНАСС» анонсировали разработку Концепции Цифрового неба России [5].

Обобщая доступные материалы, можно сформулировать основные положения данной Концепции:

- Целью Концепции является объединение в единую безопасную информационную среду множества компонентов воздушно-космического пространства всех видов, а именно: летательных аппаратов – беспилотных воздушных судов, самолетов, вертолетов, космических орбитальных спутников, а также наземный транспорт и наземную инфраструктуру по сетевому принципу (Рис. 1).

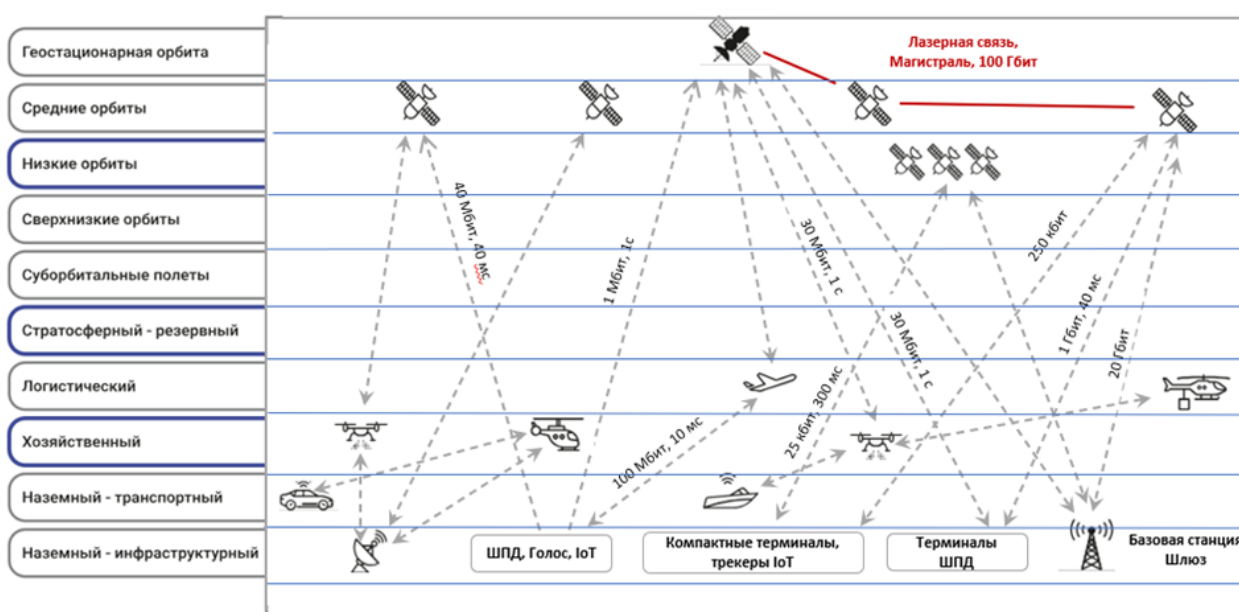


Рис.1. Схема Цифрового неба.

- беспилотные воздушные суда (БВС), которые породили понятие Цифрового неба, занимают всего лишь один из десяти уровней, названный «хозяйственным»;

- в эпоху глобальной цифровой трансформации все объединяемые компоненты среды имеют цифровую информационную часть, все линии связи – цифровые, благодаря чему говорится о «бесшовном» Цифровом небе. Заметим, что можно рассматривать Единое информационное пространство Цифрового неба;

- должна быть разработана система организации воздушного движения для всех компонентов Цифрового неба;

- для создания Цифрового неба и системы управления безопасностью полетов должны быть объединены все существующие платформы и технологии из сфер воздушного, космического и цифрового пространств. Особая роль должна быть у технологии искусственного интеллекта;

- необходимо устранить проблемы с обменом данными между разными аппаратами, которые используют разные технологии, для чего необходимо разработать стандарты для совместной работы различных компонентов в гетерогенной среде, чтобы они могли эффективно взаимодействовать на разных орбитах и уровнях. Подчеркнем, что здесь по существу, но в неявной форме говорится о необходимости обеспечения интероперабельности (см. Введение);

- необходимо создать цифровую сеть для передачи и обработки данных между всеми компонентами среды. Данная сеть будет связывать инфраструктуру космоса, воздуха и Земли, формируя новый вид критической информационной инфраструктуры (к ней относятся сети связи и информационные системы федеральных органов исполнительной власти, энергетических, транспортных, медицинских и ряда др. компаний);

- данная сеть должна быть «гибридной» – она должна объединять наземный, стратосферный и космический сегмент сети. Сеть позволит корректно распределять потоки данных между спутниками, стратосферными платформами и наземными вышками и должна включать различные виды связи (Рис. 1);

- должно быть осуществлено сквозное межотраслевое регулирование – беспилотные воздушные суда должны учитывать одновременно сегменты воздушного, космического и IT-законодательства, которые сейчас разделены. Для этого предлагается ввести новую отрасль права – «цифровое транспортное право». Здесь также заметим, что данное требование относится к верхнему, организационному уровню модели интероперабельности (см. раздел 2.3 в [9]);

- необходимо создать цифровую модель Цифрового неба.

Таким образом, в основном положения отечественной Концепции цифрового неба совпадают с положениями европейской. Основные отличия отечественной Концепции следующие:

- 1) В ней не говорится прямо об интероперабельности, хотя называются ее характеристики: проблемы с обменом данными, использование ИКТ-стандартов, устранение барьеров, бесшовность;
- 2) Ничего не говорится о необходимости сертификации, хотя как известно, использование стандартов должно подтверждаться сертификацией;
- 3) Не подчеркивается необходимость обеспечения сетецентрического принципа построения архитектуры Цифрового неба, а это важное требование, поскольку сетецентрическая архитектура ускоряет обмен данными, между всеми его компонентами.

1.3. Выводы по разделу

Таким образом, на основании изложенного в данном разделе можно сделать следующие выводы:

- В течение ряда последних лет в связи с интенсивным развитием беспилотной авиации во всем мире и в России, в том числе, ведутся активные работы по созданию Цифрового неба – единой среды, включающей, кроме беспилотной авиации, пилотируемые воздушные суда и орбитальные спутники, а также, несмотря на название, наземный транспорт и наземную инфраструктуру. Основная проблема – обеспечение безопасности полетов путем эффективного информационного взаимодействия между всеми компонентами;
- В эпоху глобальной цифровизации естественно говорить о Цифровом небе, или о Едином информационном пространстве Цифрового неба;

- С точки зрения информационных технологий Цифровое небо – гетерогенная информационная система, в которой необходимо обеспечить взаимодействие между всеми разнородными компонентами, т.е обеспечить интероперабельность;
- Создание Цифрового неба – сложнейшая научно-техническая и организационная проблема, требующая решения правовых вопросов и применения всех передовых технологий;
- Одной из таких технологий должна выступать технология обеспечения интероперабельности как основная технология для бесшовной интеграции разнородных информационных систем. В известных зарубежных проектах о явно говорится о необходимости обеспечения интероперабельности, в то время как в проекте Концепции Цифрового неба России, косвенно, что представляется, на наш взгляд, упущением;
- Именно такая технология предложена ИРЭ РАН им. В.А Котельникова и зафиксирована в ГОСТ Р 55062 -2012/2021.

На основании вышеизложенного, следующий раздел посвящен попытке адаптации отечественного единого подхода (технологии) к обеспечению интероперабельности Цифрового неба.

2. Адаптация отечественного подхода (технологии) к обеспечению интероперабельности Цифрового неба

Технология обеспечения интероперабельности для систем самого широкого класса, изложенная в ГОСТ Р 55062 -2012/2021 [9], приведена на Рис. 2 и содержит основные (1-6) вспомогательные (7-9) этапы.

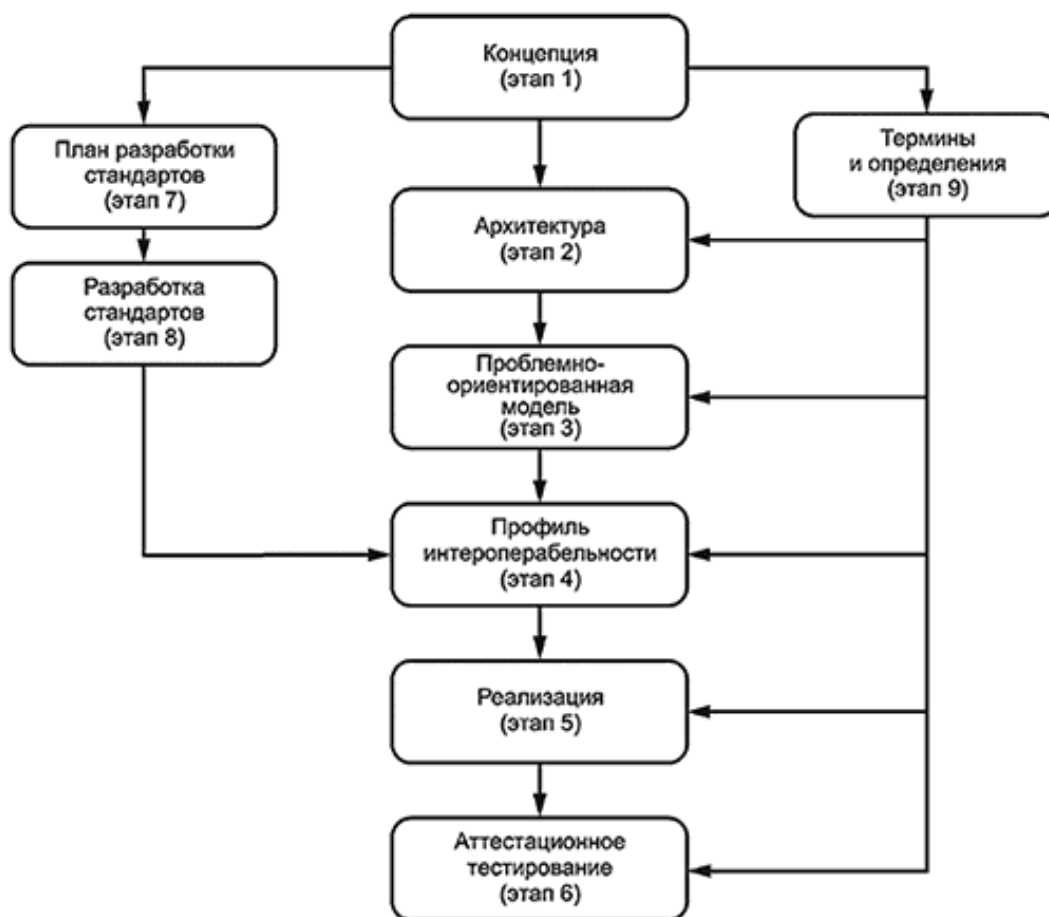


Рис. 2. Технология обеспечения интероперабельности информационных систем самого широкого класса/

Приведенную технологию можно считать признанной научно-технической общественностью, она цитируется в трех монографиях [10,11, 2], множестве журнальных публикаций, и на нее имеются ссылки во многих национальных стандартах. Представляется вполне правомерным применить указанную технологию к созданию и функционированию Цифрового неба России как к гетерогенной информационной среде.

2.1. Концепция интероперабельности Цифрового неба России (этап 1, рис. 2)

Данная Концепция, должна включать положения проекта Концепции Цифрового неба России, приведенные в п. 1.2, включая построение цифрового двойника, со следующими дополнениями:

- приведено обобщенное определение Цифрового неба, которое в известных материалах отсутствует в явной форме: «Цифровое небо – интероперабельная, безопасная информационная среда с сетевцентрической архитектурой,

включающая беспилотные воздушные суда, пилотируемые воздушные суда, орбитальные спутники, наземный транспорт и наземную инфраструктуру»;

- данная Концепция содержит акцент на обеспечение интероперабельности фрагмента Цифрового неба, связанного с БВС, поскольку само понятие порождено развитием беспилотной авиации;

- тем самым подчеркивается первостепенное значение обеспечения интероперабельности в указанном фрагменте, без чего не может быть обеспечена безопасность использования воздушно-космического пространства;

- подчеркивается важность построения среды с сетцентрической архитектурой, которая по сравнению с классической иерархической архитектурой повышает скорость обмена информацией между всеми компонентами среды и одновременно предъявляет повышенные требования к интероперабельности [13];

- подчеркивается, что для БВС, присутствующим в Цифровом небе, для решения ряда задач имеется тенденция их объединения в группировки [4]. В связи с этим на «хозяйственном» уровне (см. Рис. 1) характерны два вида интероперабельности: «внутренняя» – для БВС внутри группировки, и «внешняя» – для связи БВС или группировки с внешней средой – другими компонентами Цифрового неба;

- отмечается специфика реализации Цифрового неба России. Она заключается в том, что согласно ФЗ «О стандартизации» [14] на территории России должны использоваться национальные стандарты (ГОСТ Р). В случае сотрудничества с другими странами, должны использоваться международные стандарты;

- подчеркивается важность разработки национальных стандартов, направленных на обеспечение интероперабельности беспилотных воздушных судов и беспилотных авиационных систем;

- подчеркивается важность проведения аттестационных испытаний (сертификации) для всех компонентов Цифрового неба как заключительного из числа основных этапов технологии (этап 6, рис. 2). Сертификация на

соответствие стандартам, входящим в профиль (этап 4, рис. 2), каждого нового изделия, разработчик которого хочет сделать компонентом Цифрового неба, должна быть добровольной.

Отдельно остановимся на разработке цифрового двойника (ЦД) Цифрового неба России. В соответствии с ГОСТ Р 57700.37-2021 [10] ЦД это система, состоящая из цифровой модели изделия и двусторонних информационных связей с изделием (при наличии изделия) и (или) его составными частями.

В зарубежной литературе встречаются определения ЦД в более конкретном контексте. Например, в NASA определяют ЦД как набор виртуальных информационных конструкций, имитирующих структуру, и поведение естественной, социальной или технической системы, динамически обновляющейся на основе данных, поступающих от ее физического двойника и обладающая способностью к прогнозированию принятия эффективных решений, а также их обоснованию для лиц принимающих решение [15]. При этом, двунаправленное взаимодействие между виртуальным и физическим ЦД занимает центральное место в ЦД, который выполняет следующие функции:

- всесторонний анализ данных;
- повышение эффективности стратегических, тактических и оперативных решений;
- контроль всех этапов жизненного цикла проектируемых изделий;
- обеспечение снижения затрат при решении разного рода задач;
- упрощение механизмов внедрения инновационных решений;
- обеспечение совместимости разного рода систем (обеспечение интероперабельности).

С точки зрения моделирования Цифрового неба, основная ценность ЦД заключается в способности определения возможностей различных гетерогенных систем с разной семантикой взаимодействовать друг с другом в рамках одной системы.

Таким образом, ЦД обладают огромным потенциалом для решения проблемы интероперабельности в Цифровом небе.

Поскольку важнейшим свойством Цифрового неба служит обеспечение безопасности полетов, для создания ЦД Цифрового неба предлагается использовать блок-схему из приложения А предварительного национального стандарта ПНСТ-1023-2025 «Система управления безопасностью полетов. Поставщики услуг гражданской авиации. Оценка интегрального уровня риска. Общие положения» [16] (Рис. 3). Разработчиком этого стандарта является один из авторов данной статьи – Мельник Д.М.

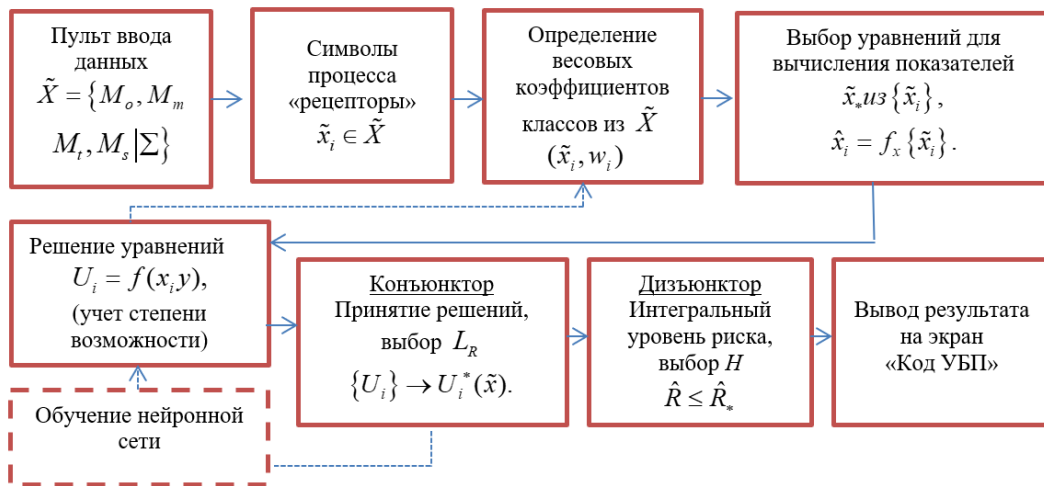


Рис. 3. Блок-схема цифрового двойника Цифрового неба.

На рисунке 3 приняты следующие обозначения: M_o – показатели организационного уровня, M_m – показатели семантического уровня, M_t – показатели технического уровня, M_s – показатели безопасности полетов летательных аппаратов, Σ – комплекс показателей условий внешней среды, U_i – условие при котором в воздушно-космическом пространстве может произойти негативное событие, \hat{R} – интегральный уровень риска для безопасности полетов, \hat{R}_* – неприемлемый уровень риска для безопасности полетов (со знаком критичности).

Обучение нейронной сети ЦД осуществляется на основе данных, полученных в ходе непрерывного мониторинга показателей Цифрового неба, а также в ходе выявления фактических и потенциальных факторов опасности

в соответствии с Руководством по управлению безопасностью полетов, разработанного специально для Цифрового неба, в соответствии с методическими рекомендациями по безопасности полетов Международной гражданской авиации (ИКАО) [17].

Учитывая то, что главной проблемой создания Цифрового неба служит обеспечение безопасности полетов летательных аппаратов (ЛА), необходимо исключить риски, связанные со столкновением ЛА друг с другом (воздушные риски), а также исключить риски столкновения ЛА с земной поверхностью и с объектами на ней (наземные риски).

Исходя из того, что Цифровое небо – в основном среда для авиационной деятельности, то в соответствии с [17], в Цифровом небе в качестве неотъемлемой части всегда будут присутствовать факторы опасности. Следовательно множество показателей Цифрового неба можно представить в виде:

$$\varphi_i \in \{M_o, M_m, M_t, M_s | \Sigma\}, \quad (1)$$

где φ_i – фактор опасности.

Тогда из операций «импликации нечетких отношений» между показателями из (1) вытекает формула конъюнкций «для опасного сечения отказов»:

$$U_R = (\varphi_1 \wedge \varphi_2 \wedge \varphi_3 \wedge \varphi_4 \wedge \varphi_5) = 1, \quad (2)$$

где U_R – условие, при котором возможна катастрофическая ситуация, $(\varphi_1, \dots, \varphi_5)$ – факторы опасности, цепь из которых может привести к катастрофической ситуации. Формула (1) получила название «уравнение катастрофы» которая имеет продолжение в виде «выбора благоприятного сценария» по приемлемому или допустимому уровням риска (3) [4,18]:

$$\hat{U}_{R^*} = (\hat{R}_1 \vee \hat{R}_2 \vee \hat{R}_3 \vee \hat{R}_4) \Leftrightarrow (L_{R1} \vee L_{R2} \vee L_{R3} \vee L_{R4}), \quad (3)$$

где L_{Ri} – сценарий, который предлагает ЦД для лиц, принимающих решение.

Т.е., из любой ситуации, в том числе и катастрофической, всегда есть выход в виде благоприятного сценария L_{Ri} с уровнем риска \hat{R}_i , отличным от неприемлемого, а лица принимающие решения имеют возможность предотвратить катастрофу или другое негативное событие.

Учитывая, что описываемое в [5] Цифровое небо имеет неопределенный характер, с разными характеристиками «бесшовности» для разных уровней, механизм функционирования ЦД целесообразно выполнить на основе нечетко-логических алгоритмов Сугено [19] с возможностью машинного обучения по поступающим данным мониторинга за воздушной обстановкой, т.е. с использованием технологий искусственного интеллекта.

В этом случае «конъюктор» ЦД будет определять цепь факторов опасности в Цифровом небе, а «дизъюктор» предлагать сценарий, позволяющий избегать факторы опасности, или нейтрализовать их, тем самым обеспечивая безопасность воздушного движения ЛА.

Результатом применения ЦД является «код управления безопасностью полетов» (блок «код УБП» на рис. 3), представляющий собой набор данных для принятия решений (Таблица 1) по обеспечению безопасности полетов в воздушно-космическом пространстве по формуле (3).

Таблица 1. Код управления безопасностью полетов Цифрового неба.

| Номер варианта угрозы | | | | Альтернативные варианты по реагированию на угрозу F |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | |
| (φ_1, φ_2) | (φ_1, φ_4) | $(\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3)$ | $(\varphi_1, \varphi_3, \varphi_5)$ | Факторы опасности (φ_i) |
| L_1 | L_2 | L_3 | L_4 | Сценарии – цепи отказов (L_R) |
| R_1 | R_2 | R_3 | R_4 | Рисковые события (R) |
| \hat{R}_1 | \hat{R}_2 | \hat{R}_3 | \hat{R}_4 | Оценки интегрального уровня риска (нечеткие) \hat{R} |
| $H(\hat{R}_1)$ | $H(\hat{R}_2)$ | $H(\hat{R}_3)$ | $H(\hat{R}_4)$ | $H(\hat{R}_i)$ – ущербы (четкие) |

Таким образом, ЦД, реализующий предложенную блок-схему (рис. 3), может анализировать состояние всех компонентов Цифрового неба, что необходимо для достижения приемлемого уровня безопасности полетов (безопасности использования воздушного-космического пространства).

2.2. Архитектура Цифрового неба России (см. этап 2, рис. 2)

Следующим шагом необходимо выстроить архитектуру – фундаментальную организационную систему Цифрового неба, реализованную в ее компонентах, их взаимосвязях друг с другом и с различными уровнями Цифрового неба. В развитие положений [5], разработана архитектура [2] Рис. 4.

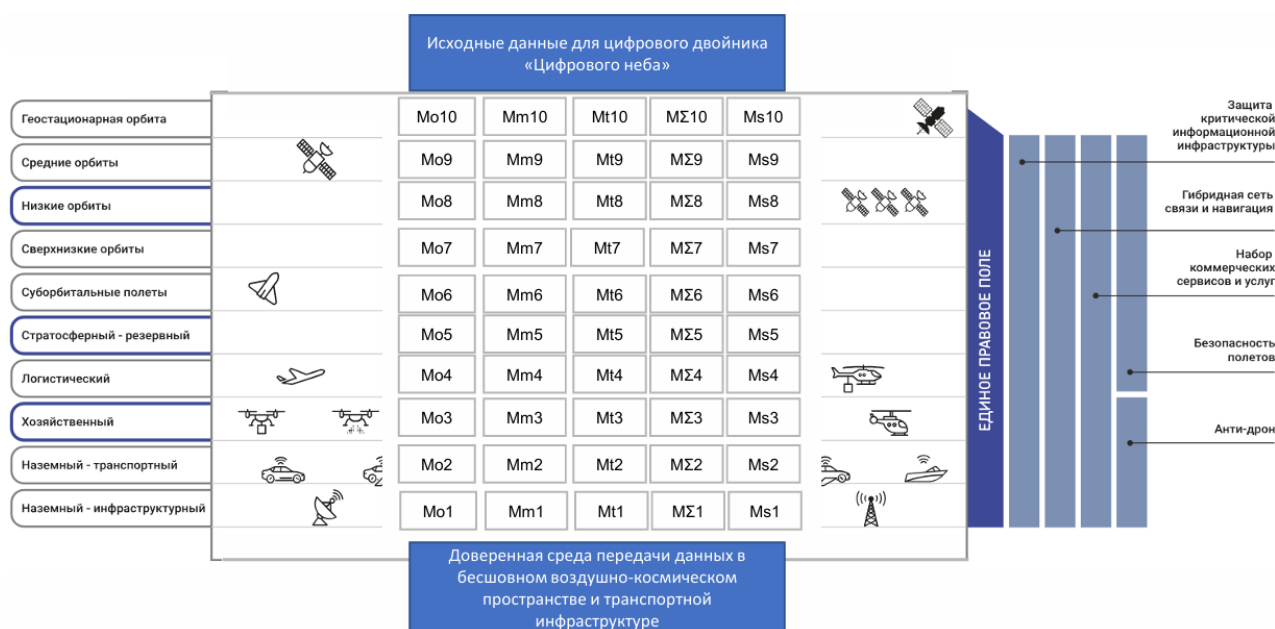


Рис. 4. Архитектура Цифрового неба с применением цифрового двойника.

При таком подходе формируются 50 классов показателей, определение взаимосвязей между которыми позволит извлекать нечеткие логические выводы о состоянии Цифрового неба и предлагать наиболее рациональные и безопасные сценарии взаимодействия ЛА различных классов, различных объектов, находящихся в разных условиях, определяемые в реальном времени по данным наблюдения (мониторинга).

2.3. Проблемно-ориентированная модель (этап 3, рис. 2)

Проблемно-ориентированная модель интероперабельности Цифрового неба с учетом того, что оно должно иметь сетцентрическую архитектуру, представлена на рис. 5 [4].



Рис. 5. Проблемно-ориентированная модель интероперабельности Цифрового неба.

2.3.1. Технический уровень интероперабельности

В соответствии с ГОСТ Р 55062 [9], технический уровень интероперабельности должен содержать ИКТ-стандарты, в первую очередь, стандартные протоколы. Учитывая перспективность перехода к гибридным орбитально-наземным сетям связи, технический уровень модели Цифрового неба следует рассматривать с точки зрения использования гибридной сети, о чем говорилось выше (см. раздел 1.2.). Создание гибридной сети может обеспечить не только технологические возможности управления беспилотными авиационными системами и орбитальными группировками, но и глобальное покрытие всего околоземного пространства соблюдая требования информационной безопасности, как это предусмотрено в [20].

2.3.2. Семантический уровень интероперабельности

Для обеспечения интероперабельности Цифрового неба на этом уровне целесообразно использовать семантические правила обмена информацией о перемещении его различных компонентов, включенных в базу данных Цифрового неба, и для этого использовать основу, изложенную в международном стандарте ISO 23629-7 «Модель пространственной базы данных. Организация воздушного движения беспилотных авиационных систем – Часть 7: Модель пространственных данных»), включенного в Федеральный информационный фонд стандартов Росстандарта [21]. Данный стандарт, как раз, предназначен для обеспечения взаимопонимания между органами обслуживания воздушного движения, внешними пилотами, эксплуатирующими БВС в воздушном пространстве классов Н, G, т.е. от 0 до 3050 м. Для всех уровней Воздушного неба, включая геостационарную орбиту (высоты около 36000 км) предлагается следующая семантическая модель базы данных воздушно-космического пространства (см. рис. 6).

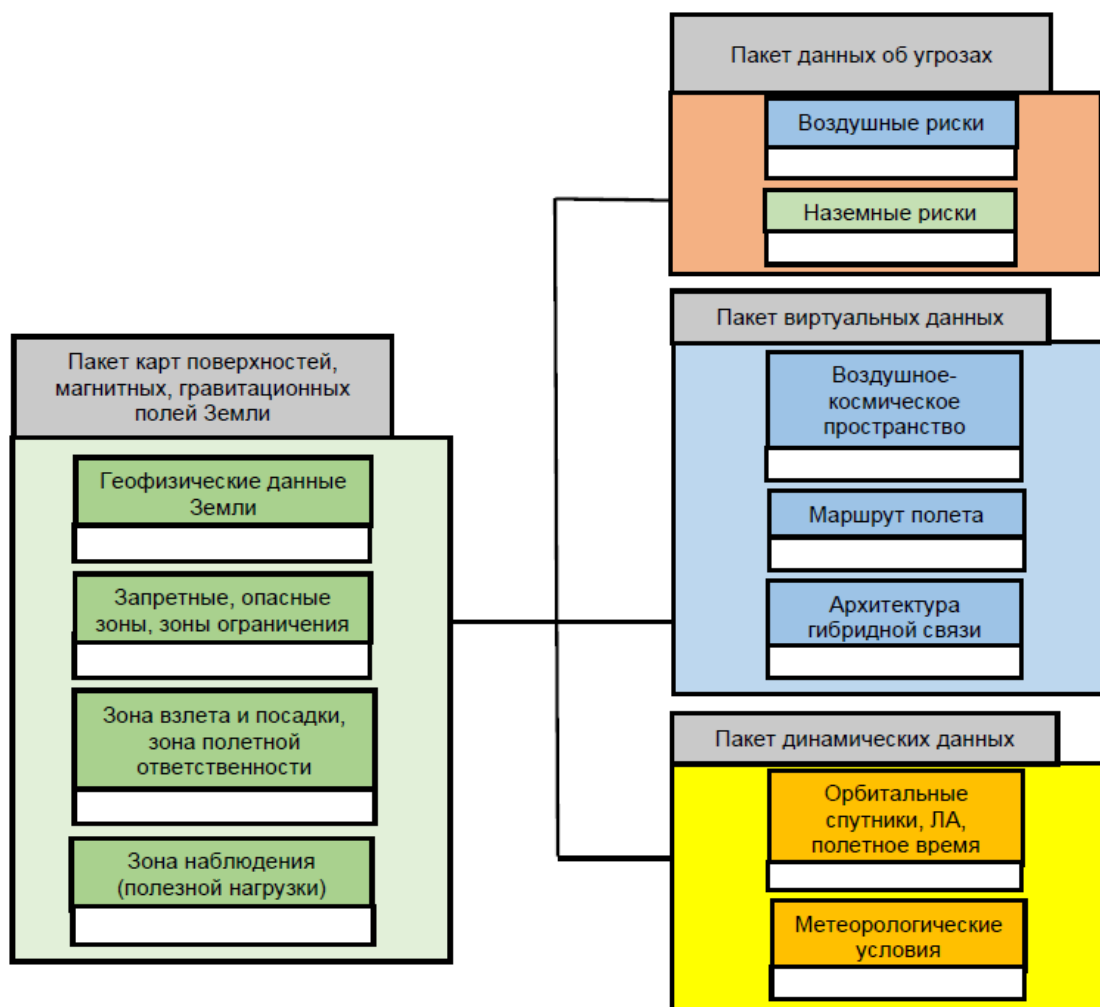


Рис. 6. Семантическая модель базы данных Цифрового неба.

Как представлено на рис. 6, семантическая модель состоит из 4 пакетов данных, каждый из которых имеет свои массивы данных (на рис. 6 представлено 11 массивов данных). Каждый массив данных имеет свои атрибуты. Пример описания атрибута массива данных «маршрут полета» из пакета фактических данных приведен в Таблице 2.

Таблица 2. Описание атрибута «маршрут полета» семантической модели базы данных Цифрового неба.

| Атрибут | Описание маршрута полета |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Идентификатор | Информация, используемая для идентификации объекта |
| Время создания | Информация, указывающая время создания объекта |
| Время исчезновения | Информация, указывающая время исчезновения объекта, если оно прогнозируется |
| Последовательность путевых точек маршрута | Информация, указывающая последовательность компонентов на маршруте полета, включая временной компонент, если это необходимо |
| Допустимое отклонение от путевых точек маршрута | Информация, указывающая допустимое отклонение от объекта выражаемое как расстояние от заданной точки маршрута, исходя из тех же принципов ИКАО, которые используются для требуемых навигационных характеристик (RNP), если это необходимо |
| Контактные данные административного органа управления | Информация, содержащая контактные данные администрации, которой принадлежит объект (например, название, адрес, телефон административного органа управления) |
| Условия эксплуатации | Информация, указывающая условия эксплуатации (например, погодные явления, ограничения по летно-техническим характеристикам, особенности пилотирования), применимые либо как общие для всех, либо как ограниченные в зависимости от специфики конкретных действий |
| Доступность услуг по организации воздушного движения (ОрВД), предоставлению услуг гибридной связи | Информация, указывающая доступность услуг ОрВД (например, совместное использование информации о движении пилотируемых и беспилотных воздушных судов, гибридной связи), если таковая имеется |
| Тип маршрута полета | Информация, указывающая тип маршрута полета (например, контролируемый маршрут полета, неконтролируемый маршрут полета и т.д.) |

Таким образом, описанная семантическая интероперабельность обеспечивает смысловую функциональность Цифрового неба, включая также обеспечение безопасности использования воздушно-космического пространства (контроль за воздушными и наземными рисками безопасности полетов).

2.3.3. Организационный уровень интероперабельности

На организационном уровне интероперабельности в связи с тем, что участниками Цифрового неба выступают многочисленные ведомства и организации (Минобороны России, Минцифры России, Минтранс России, Роскосмос, ФГУП «Госкорпорация по ОрВД» и др.), должны решаться правовые вопросы, затрагивающие реализацию в том числе и национальных проектов [4]. Как отмечено в [5] можно ожидать появления новой отрасли права – «цифровое транспортное право».

2.4. Профиль интероперабельности (см. этап 4, рис. 2)

Следующим этапом технологии обеспечения интероперабельности является разработка профиля – набора стандартов, структурированного в терминах проблемно-ориентированной модели Цифрового неба.

На как уже говорилось выше, на *техническом уровне* должны быть расположены в первую очередь протоколы от всех видов связи интегрируемых в гибридную связь: космическая, наземная, авиационная. Привести здесь действующие протоколы не имеет смысла. Приведем лишь в качестве примера ГОСТ Р 70020-2022 «Космическая техника. Интерфейсы и протоколы высокоскоростного межприборного информационного обмена и комплексирования бортовых систем космических аппаратов. SpaceWire-RUS»

На *семантическом уровне* с большой долей уверенности можно сказать, что будут использоваться стандарты семантической сети. Это следует из того, что в проекте Концепции цифрового неба планируется использовать все имеющиеся технологии. Примером может служить основной ГОСТ Р 71540-2024 (ИСО/МЭК 5392 И:2024) «Эталонная архитектура инженерии знаний».

На *организационном уровне* должны содержаться нормативно-правовые документы в первую очередь, документ, описывающий Цифровое транспортное право. Кроме этого, на организационном уровне должны быть заложены принципы, обеспечивающие безопасность полетов, кибербезопасность и транспортную безопасность.

В качестве определяющих документов следует ориентироваться на Постановление Правительства Российской Федерации от 09.02.2023 г. № 190 «О Правительственной комиссии по вопросам развития беспилотных авиационных систем» [22], Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р. Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года [23].

Кроме этого, организационный уровень должен содержать функциональные свойства ЦД, описанного выше, а безопасность полетов ЛА должна иметь приоритет в основе организации Цифрового неба в соответствии с документом

Международной организации гражданской авиации (ИКАО) по управлению безопасностью полетов [17].

Профиль Цифрового неба в соответствии с имеющейся практикой, может быть оформлен как отдельный документ.

2.5. Реализация (этап 5, рис. 2)

Все новые изделия, которые планируется включить в качестве компонента Цифрового неба, должны в своей информационной части быть выполнены в соответствии со стандартами, вошедшими в профиль.

2.6. Аттестационное тестирование (этап 6, рис. 2)

Заключительным из основных этапов реализации технологии обеспечения интероперабельности является «Аттестационное тестирование». В случае выбора или создания системы добровольной сертификации необходимо иметь орган по сертификации с аккредитованной испытательной лабораторией. Испытательная лаборатория должна иметь соответствующие методику, программу испытаний, технические и программные средства проверки на соответствие группе стандартов, а также аттестованный персонал. Учитывая акцент на применение технологии открытых систем к БВС, испытательная лаборатория может быть ориентирована на аттестационное тестирование по принятым для Цифрового неба стандартам. ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН имеет опыт аккредитации такой лаборатории в системе добровольной сертификации «Росинфосерт» [25], общая схема которой для организации органа по сертификации Цифрового неба может соответствовать рис.7.

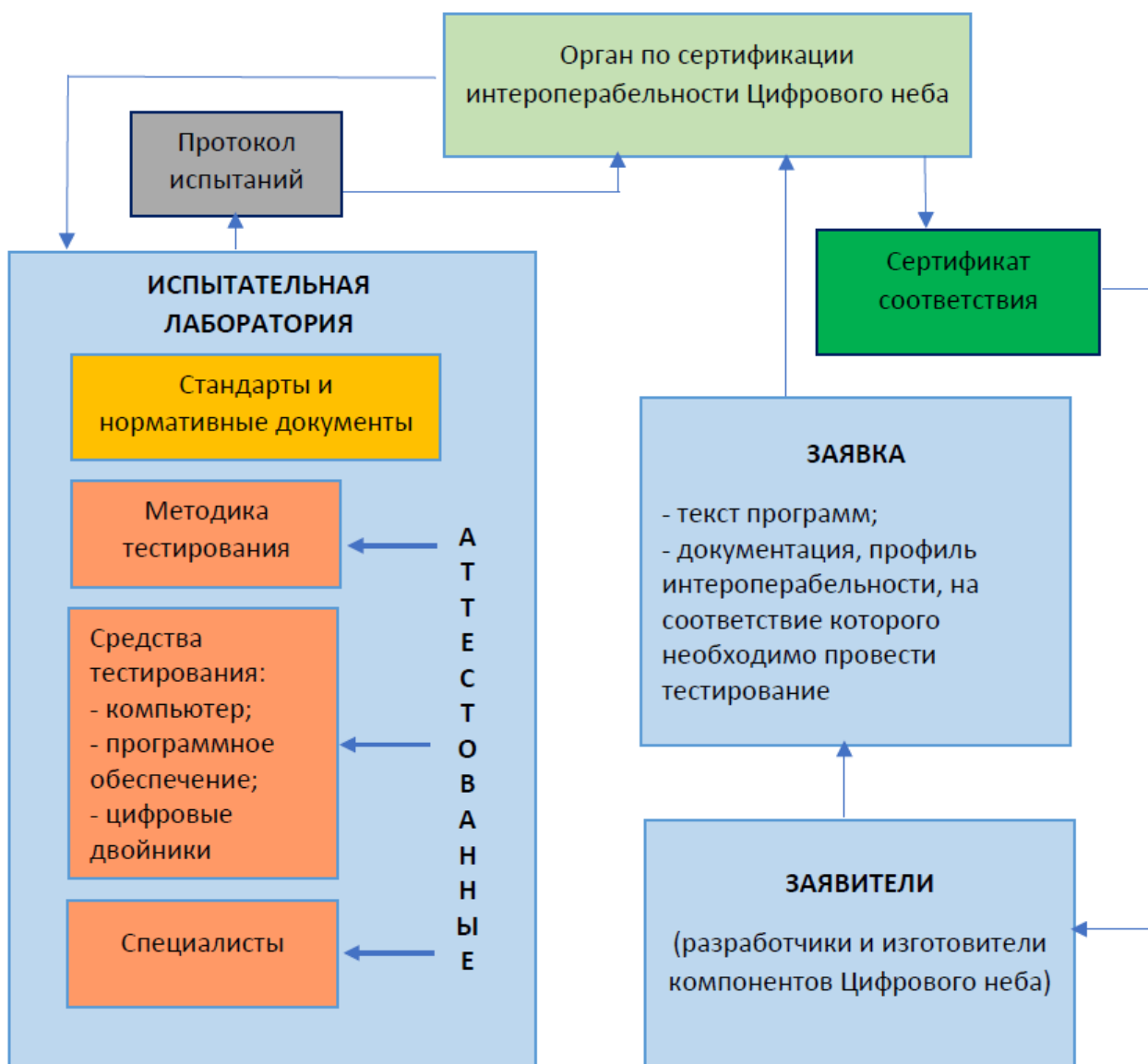


Рис. 7. Общая схема аттестационного тестирования интероперабельности Цифрового неба.

2.7. План разработки стандартов (этап 7, рис. 2)

В настоящее время согласно заявке от ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН и ПК206 в план разработки стандартов (Программа национальной стандартизации на 2026 г. – ПНС-2026), направленных на обеспечение интероперабельности беспилотных авиационных систем БАС включен стандарт, международным аналогом которого служит стандарт ISO/IEC 4005-1 «Telecommunications and information exchange between systems – Unmanned aircraft area network (UAAN, состоящий из 4 частей, описанных в [4].

2.8. Разработка стандартов (этап 8, рис. 2)

К настоящему времени в стадии разработки находится первый национальный стандарт по интероперабельности в области беспилотной авиации «Беспилотные авиационные системы. Интероперабельность», который будет иметь статус предварительного национального стандарта (ПНСТ). Головной разработчик ООО НПП «ПРИМА» (г. Нижний Новгород), соисполнитель – ИРЭ им. В.А. Котельникова РАН.

2.9. Термины и определения (этап 9, рис.2)

В проекте Концепции Цифровое небо России, ввиду участия большого количества ведомств и организаций, крайне важно использование общей терминологии. Ввиду этого должен быть разработан сводный глоссарий, включающий в первую очередь термины и определения из действующих стандартов:

- ГОСТ Р 57258-2016 «Системы беспилотные авиационные. Термины и определения»,

- ГОСТ Р 53802-2010 «Системы и комплексы космические. Термины и определения»,

- ГОСТ Р 59796-2021 «Информационные технологии. Интероперабельность. Термины и определения», а также из других смежных документов, содержащих термины и определения.

2.10. Выводы по разделу 2

На основании изложенного в данном разделе можно сделать следующие выводы:

- Сделана попытка адаптировать к процессу создания Цифрового неба России отечественную технологию обеспечения интероперабельности, предложенную ИРЭ им. В.А Котельникова и зафиксированную в ГОСТ Р 55062, дополненную предложением по использованию Цифрового двойника;

- Показана целесообразность применения данной технологии к процессу создания Цифрового неба России при достаточной проработке всех этапов

- Тем самым показана необходимость внесения данной технологии в разрабатываемую Концепцию Цифрового неба России

Заключение

На основании изложенного можно сделать следующие выводы и предложения:

1) Цифровое небо – современное понятие, возникшее в результате крайне интенсивного развития беспилотной авиации;

2) Предлагается следующее определение Цифрового неба: Цифровое небо – интероперабельная безопасная информационная среда с сетевидной архитектурой, включающая взаимодействие всех видов летательных аппаратов, наземный транспорт и наземную инфраструктуру, объединенные гибридной сетью;

3) Развитие беспилотной авиации при создании Цифрового неба породило ряд технических и правовых проблем, связанных в первую очередь с обеспечением безопасности полетов. При этом следует учитывать и присутствие других летательных аппаратов, а также наземных средств, которые входят в Цифровое небо;

4) В этих условиях важнейшей задачей является обеспечение эффективного информационного взаимодействия между всеми компонентами Цифрового неба – обеспечение интероперабельности;

5) В зарубежных материалах по Цифровому небу требование обеспечения интероперабельности прописано в явной форме, в проекте Концепции Цифрового неба России – в неявной;

6) С учетом того, что обеспечение интероперабельности составляет своего рода технологию, она должна быть добавлена к перечню технологий, перечисленных в проекте Концепции, анонсированной АНО «Платформа НТИ» совместно с АО «ГЛОНАСС»;

7) Сделана попытка адаптировать к процессу создания Цифрового неба России отечественную технологию обеспечения интероперабельности, предложенную ИРЭ им. В.А Котельникова и зафиксированную в ГОСТ Р 55062;

8) Предлагается внести в проект Концепции цифрового неба России требование обеспечения интероперабельности в явной форме, а также внести соответствующие поправки в национальный проект «Беспилотные авиационные системы» [26].

Литература

1. Электронный ресурс: International Virtual Observatory Alliance – https://en.wikipedia.org/wiki/International_Virtual_Observatory_Alliance (дата обращения 30.01.2026 г.).
2. Мельник Д.М., Олейников А.Я., «Цифровой двойник при решении проблемы интероперабельности Цифрового неба», XX Международная отраслевая научно-техническая конференция «Технологии информационного общества», 10 марта 2026 г., МТУСИ, Москва.
3. Каменщиков А.А. Проблема интероперабельности в области беспилотников // ИТ-Стандарт. – 2019. – №3 (20). – С.42-49.
4. Мельник Д. М., Скрипник И.В, Милов В.Р. Олейников А.Я., Черепенин В.А. О развитии работ по интероперабельности в области беспилотной авиации, журнал // Информационные технологии и вычислительные системы. – 2025. – № 4. – С. 94-105.
5. Электронный ресурс: Бесшовное цифровое небо – <https://ds.nti2035.ru/?ysclid=mkniccx4or291995449> (дата обращения 28.03.2026 г.).
6. Электронный ресурс: Космические перспективы Китая. <https://xn--mlagf.xn--plai/events/kosmicheskije-perspektivy-kitaya/> (дата обращения 28.03.2026 г.).
7. Электронный ресурс: Digitalsky mission. <https://indianflyingcommunity.com/about-digitalsky/> (дата обращения 28.03.2026 г.).

8. Электронный ресурс: Digital European Sky, Luxembourg, Publications Office of the European Union, 2020.
<https://www.sesarju.eu/sites/default/files/documents/reports/SRIA%20Digital%20European%20Sky%20-%20Survey%20Version-01.01.pdf> (дата обращения 28.03.2026 г.).
9. ГОСТ Р 55062-2021 «Информационные технологии. Интероперабельность. Основные положения».
10. Акаткин Ю.М., Ясиновская Е.Д. Цифровая трансформация государственного управления. Датацентричность и семантическая интероперабельность. – «Автор», 2019 – 550 с.
11. Макаренко С.И. Интероперабельность организационно-технических систем. Монография. «Наукоемкие технологии», Санкт-Петербург, 2024 – 313 с.
12. Салбиев А.Т. Интероперабельность – основа экономики данных. Монография – «Политех-Пресс», Санкт-Петербург, 2025 – 494 с.
13. Макаренко С. И., Олейников А. Я., Черницкая Т. Е. Модели интероперабельности информационных систем, журнал // Системы управления, связи и безопасности. – 2019. – № 4. – С. 214-245.
14. Федеральный закон от 29.06.2015 № 162-ФЗ (ред. от 30.12.2020) «О стандартизации в Российской Федерации».
15. Электронный ресурс: The Promise and Applications of Digital Twins Digital Twin Symposium Marshall Space Flight Center, February 16, 2025
<https://ntrs.nasa.gov/citations/20250001779> (дата обращения 06.03.2026 г.).
16. ПНСТ-1023-2025 «Система управления безопасностью полетов. Поставщики услуг гражданской авиации. Оценка интегрального уровня риска. Общие положения».
17. Документ ИКАО 9859 «Руководство по управлению безопасностью полетов», Монреаль, 4-е изд, 2018 г.
18. Kuklev E.A. and others. Aviation Systems Risk and Safety. Singapore: Springer, 2019. – 258 p.

19. Борисов В.В., Федулов А.С., Зернов М.М. Основы гибридизации нечетких моделей – М.: Горячая линия – Телеком, 2017. – 100 с.
20. Распоряжение Правительства РФ от 24 ноября 2023 г. № 3339-р Об утверждении Стратегии развития отрасли связи РФ на период до 2035 г.
21. ISO 23629-7 «Модель пространственной базы данных. Организация воздушного движения беспилотных авиационных систем – Часть 7: Модель пространственных данных.
22. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.02.2023 № 190 «О Правительственной комиссии по вопросам развития беспилотных авиационных систем»;
23. Распоряжение Правительства РФ от 21 июня 2023 г. № 1630-р. Об утверждении Стратегии развития беспилотной авиации Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2035 года;
24. Киричек Р.В, Абилов А.В., Зайцев А.И., Окунева Д.В., Застолбин Д.Н. Гибридные сети связи: Возможности и перспективы, журнал // Электросвязь. – 2024. – № 12-2. – С. 4-9.
25. Технология открытых систем/Под редакцией Олейникова А.Я. – М.: Янус-К, 2004. – 288 с.
26. Паспорт «Беспилотные авиационные системы», утв. Минпромторгом России.

Для цитирования:

Мельник Д.М., Милов В.Р., Олейников А.Я., Скрипник И.В., Черепенин В.А. Проблема интероперабельности в области Цифрового неба. // Журнал радиоэлектроники. – 2026. – №. 4. <https://doi.org/10.30898/1684-1719.2026.4.1>