



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Е. ЖУКОВСКОГО»

**ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
В ГРАЖДАНСКОМ АВИАСТРОЕНИИ В РОССИИ
НА ПЕРИОД ДО 2050 ГОДА**



МОСКВА
2025



НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«ИНСТИТУТ ИМЕНИ Н.Е. ЖУКОВСКОГО»

**ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИЙ
В ГРАЖДАНСКОМ АВИАСТРОЕНИИ В РОССИИ
НА ПЕРИОД ДО 2050 ГОДА**

МОСКВА
2025

Документ предназначен для руководящего состава и специалистов по стратегическому планированию Федеральных органов исполнительной власти, организаций авиационной промышленности, а также сотрудников профильных научных и образовательных организаций в области авиационной техники.

Прогноз развития науки и технологий в гражданском авиастроении в России на период до 2050 года подготовлен на основе материалов исследований в рамках государственного задания ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» от 28 декабря 2023 г. № 020-00002-24-00 на тему «Разработка актуализированного долгосрочного прогноза научно-технологического развития авиастроения», результаты которых одобрены научно-техническим советом ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» (протокол от 24 января 2025 г. №4) и приняты Минпромторгом России.

Оглавление

Краткое содержание	6
Аннотация	11
Актуальность разработки прогноза научно-технологического развития авиационного строения	12
Методология прогнозирования и структура прогноза научно-технологического развития авиационного строения	15
Цели технологического развития авиации и авиационного строения	17
Тенденции развития мировой гражданской авиации и авиационного строения	19
Проблемы и особенности развития гражданской авиации в России	25
Проблемы развития авиационного строения в России	31
Требования среднесрочной перспективы к гражданской авиации и авиационной технике в России	35
Перспективы развития сектора авиационных работ	40
Требования долгосрочной перспективы к гражданской авиации и авиационной технике в России	47
Вызовы и приоритетные задачи технологического развития российского авиационного строения	51
Приоритетные направления развития технологий в гражданском авиационном строении в среднесрочной перспективе	57
Технологические барьеры развития авиации в долгосрочной перспективе	59
Приоритетные направления развития технологий авиационного строения в долгосрочной перспективе и ожидаемая эффективность их применения	61
Направления ориентированных фундаментальных исследований в интересах авиационного строения	65
Заключение	67
Перечень аббревиатур	69



Настоящий Прогноз развития и технологий в гражданском авиастроении в России на период до 2050 года и дальнейшую перспективу (далее – Прогноз) представляет собой обоснованное видение ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» (далее – Центр) основных стратегических ориентиров развития прикладной науки для решения текущих и долгосрочных задач в обеспечении поэтапного достижения целей развития авиастроения и гражданской авиации в России.

Условия функционирования и развития российских авиации и авиастроения радикально изменились вследствие санкционных войн против Российской Федерации, что диктует необходимость обеспечения технологического суверенитета России, самостоятельной разработки необходимых технологий ввиду ограниченности располагаемых ресурсов и масштабов доступных рынков. Основной задачей авиационного комплекса России является обеспечение внутренних потребностей страны.

Прогноз сформирован с учетом национальных интересов и соответствующей специфики требований к перспективной авиационной технике, что существенно отличает Прогноз от ранее разработанных в Российской Федерации прогнозных и плановых документов, ориентированных на следование мировым тенденциям.

Прогнозирование требований к авиации будущего и технологиям авиастроения опирается на генеральные цели развития авиации с точки зрения общества и экономики, отвечающие национальным целям развития Российской Федерации. Результаты авиационной деятельности широко востребованы населением и различными отраслями экономики, что определяет комплексность целеполагания развития технологий в области гражданского авиастроения. Развитие науки и технологий в гражданском авиастроении в Российской Федерации направлено на достижение технологического суверенитета и лидерства в области авиации, повышение доступности и качества авиационных услуг, безопасности полетов, а также снижение вредного воздействия на окружающую среду. Далее эти генеральные цели декомпозируются до требований к характеристикам различных классов воздушных судов.

На основе национальной специфики целей выделены следующие ключевые тренды развития науки и технологий в гражданском авиастроении:

1. Потенциал совершенствования традиционных концепций авиационной техники в мировом авиастроении близок к исчерпанию и дальнейшие относительно небольшие улучшения требуют непропорционально больших затрат. Необходима разработка технических обликов летательных аппаратов на основе принципиально новых технологий.

2. Продуктом авиастроения являются не воздушные суда, а целостные экосистемы. Эти экосистемы обеспечивают предоставление услуг потребителям в требуемом месте точно в срок с минимальными затратами за счет централизованного управления ресурсами. Они включают также парки воздушных судов, наземную транспортную и сервисную инфраструктуру, а также управление техническим состоянием, организацию воздушного движения, что обеспечит новый уровень безопасности полетов.

3. Максимальная унификация парка позволяет минимизировать издержки разработки, производства и эксплуатации воздушных судов в условиях малой серийности. Масштабы доступных внутренних и внешних рынков для России не позволяют разрабатывать столь же широкий модельный ряд авиационной техники как у глобальных мировых лидеров без ущерба серийности и, следовательно, стоимости разработки и производства продукции. В то же время, эта техника должна эффективно обеспечивать транспортную связанность территории страны и выполнение авиационных работ в интересах отраслей экономики. Моделирование, проведенное в Центре, показывает, что даже радикальное сокращение модельного ряда (по одному типу магистральных и региональных самолетов) не приведет к значительному росту затрат на выполнение перевозок – в пределах 1,5-2%.

4. Одним из важнейших механизмов повышения серийности производства и унификации продукции является трансфер технологий в рамках концепции военно-гражданского синтеза. Военно-гражданский синтез предусматривает объединение гражданских и военных технологических ресурсов на всех этапах исследований, разработок и производства, базируется на системном взаимодействии, начиная с этапов поисковых и прикладных исследований, а также создание условий для оперативной и эффективной адаптации технологий под гражданские и военные нужды (в рамках единой среды).

5. Требования по снижению воздействия авиации на окружающую среду используются в основном как протекционистские меры. Необходима разработка национальных норм (по снижению шума, удельных выбросов парниковых газов и других) с учетом специфики и потребностей страны, зарубежные требования не должны быть приоритетными при разработке технологий.

6. Развитие и повсеместное применение технологий искусственного интеллекта, автоматизации, включая решение задач повышения безопасности полетов за счёт снижения влияния человеческого фактора при принятии решений.

В результате анализа проблем и особенностей развития авиационной отрасли в Российской Федерации, а также сформированных требований к гражданской авиации и авиационной

технике для трех горизонтов планирования **определены вызовы и приоритетные задачи технологического развития российского авиастроения.**

Краткосрочный период (до 2030 г.):

Основной проблемой, вызванной санкционными войнами и прекращением поставок авиационной техники, компонентов, материалов и других критических ресурсов, послепродажных услуг, является необходимость обеспечения технологического суверенитета и самостоятельного производства гражданской авиационной техники в интересах российской авиатранспортной системы.

Для решения задач безопасной эксплуатации разнородного парка, включающего как оставшуюся импортную, так и новую отечественную авиационную технику, выпускаемую небольшими сериями (нехватка статистики для повышения надежности техники), **приоритетны интеллектуальные технологии индивидуального мониторинга, диагностики и предиктивного управления состоянием** воздушных судов. Параллельно развиваются технологии **управления воздушным движением, управления движением беспилотных летательных аппаратов** и обеспечения их **интеграции в несегрегированное воздушное пространство.**

Среднесрочный период (до 2036-2040 гг.)

Ключевым вызовом для авиации и авиастроения являются амбициозные цели по повышению эффективности авиаперевозок и их доступности для населения, закрепленные в государственных документах стратегического планирования.

Применение более интегральных компоновок, прокомпозитных и бионических конструкций для магистральных самолетов позволит снизить расход топлива и расширить возможности размещения полезной нагрузки и топлива. В обеспечение сокращения выбросов парниковых газов при выполнении международных авиаперевозок будет обеспечено безопасное **использование альтернативных видов топлива**, соответствующих требованиям устойчивого развития, для Российской Федерации таким топливом может быть природный газ.

Повышение комфорта на борту и эффективности бортового оборудования будет обеспечено радикальным **увеличением энерговооруженности, мощности бортовых энергосистем, снижением шума в кабине и повышением кабинного давления.**

Для повышения уровня безопасности полетов и снижения трудоемкости управления на всех классах воздушных судов будут внедрены **интеллектуальные «помощники» экипажа (бортовые и наземные).**

На местных и региональных воздушных линиях будут расширены условия базирования и эксплуатации воздушных судов. На них будут применяться самолеты с укороченным взлетом/посадкой и высокими летно-техническими характеристиками **за счет**

энергетической механизации крыла, включая применение гибридных и электрических распределенных силовых установок. Воздушные суда местных воздушных линий будут иметь **повышенную автономность эксплуатации и возможность использования местных энергетических ресурсов.**

Массовое внедрение технологий беспилотных летательных аппаратов качественно расширит сектор авиационных работ, что приведет к повышению эффективности бизнес-процессов и пространственной организации отраслей-потребителей (лесное, сельское хозяйство, топливно-энергетический комплекс и другие).

Долгосрочный период (на рубеже 2050 г. и далее):

Ключевые вызовы научно-технологического развития связаны с необходимостью существенного повышения доступности авиаперевозок в дальнем и в местном сообщении для качественного совершенствования пространственного развития Российской Федерации при невозрастании совокупных объемов выбросов загрязняющих веществ и снижении ущерба от авиационных происшествий.

Повышение доступности авиаперевозок вызовет многократный рост пассажиропотоков, что потребует обеспечить **переход магистральных самолетов на использование альтернативных видов топлива, включая жидкий водород.**

Важнейшим драйвером пространственного развития городских агломераций станет внедрение систем городской и пригородной авиационной мобильности, обеспеченное масштабной разработкой доступных **винтокрылых летательных аппаратов с гибридными и электрическими силовыми установками, отсутствием сложных механизмов (автомата перекоса и других), а также автоматизированным управлением.**

Для существенного сокращения времени полета на дальнемагистральных маршрутах будет создан **комплекс технологий сверхзвукового гражданского самолета**, обладающего возможностью длительного крейсерского сверхзвукового полета на необходимую дальность с приемлемым уровнем звукового удара для полетов над населенными регионами, а также обладающего достаточными ресурсными и технико-экономическими характеристиками.

На основании выделенных вызовов и задач определены **направления создания комплексного научно-технического задела** в интересах разработки новых образцов авиационной техники гражданского назначения, предусматривающие взаимную увязку технологий в рамках технических концепций авиационной техники. Также выделены **«сквозные» направления развития науки и технологий**, применимые в рамках разных классов авиационной техники (как новых, так и модернизируемых типов) и даже за пределами авиастроения.

 <p>Технологии сверхзвукового гражданского самолёта с приемлемыми уровнями звукового удара и шума на местности</p> 	 <p>Технологии снижения расхода топлива для повышения доступности магистральных авиаперевозок</p> 	 <p>Технологии самолёта короткого взлёта-посадки для повышения доступности региональных и местных авиаперевозок</p> 	 <p>Технологии винтокрылых летательных аппаратов для повышения авиационной мобильности</p> 
<p>Технологии автоматизации управления и поддержки принятия решений за счет повышения степени интеллектуализации комплекса бортового оборудования</p>			
<p>Технологии электрических и гибридных силовых установок, электрифицированных систем и применения альтернативных топлив</p>			
<p>Технологии индивидуального мониторинга и прогнозирования состояния воздушных судов, их систем и других элементов авиатранспортной системы</p>			

Также в Прогнозе представлены **приоритетные направления фундаментальных и поисковых исследований** в интересах разработки перспективных технологий авиастроения, которые необходимы для решения амбициозных задач качественного улучшения транспортного обслуживания страны и глобального лидерства в долгосрочной перспективе.



Технологический прогноз (далее – Прогноз) – это итог системного анализа будущих тенденций в развитии технологий, направленный на предсказание потребности в новых технологиях, их потенциала, сроков внедрения и влияния на развитие экономики и общества. В авиационной науке и в авиастроении такой прогноз играет важную роль для государства, так как позволяет формировать долгосрочные стратегии (что необходимо в отраслях с длительными жизненными циклами), укреплять национальную безопасность и обеспечивать устойчивое развитие. Для государства технологический прогноз в авиации служит основой для устойчивого, целенаправленного и сбалансированного развития этой области техники и смежных отраслей. Он позволяет предвидеть изменения, связанные с потребностями экономики и общества, защиты окружающей среды, технологическими возможностями и рисками, обоснованно решать задачи стратегического планирования. Через долгосрочное технологическое прогнозирование государство определяет ориентиры для развития науки и образования, создает основу для планирования инвестиций, развития предприятий и даже планирования индивидуальной «жизненной траектории» развития высококвалифицированных работников (поскольку в таких отраслях приходится учиться всю жизнь). Прогноз – это необходимый инструмент для создания стабильной системы управления в отрасли, способной адаптироваться к вызовам будущего, минимизируя риски и сохраняя суверенитет над критически важными технологиями. Без опоры на такой прогноз государство рискует столкнуться с деградацией отрасли, ростом зависимости от внешних решений и неспособностью ответить на большие вызовы, стоящие перед авиацией и страной в целом.

В первую очередь, Прогноз опирается на **цели технологического развития авиации и авиастроения**, поскольку развитие должно быть целенаправленным, а от поставленных целей зависит, благотворны или опасны будущие изменения. Это позволяет определить сферы влияния авиации на национальную экономику страны. Учитываются **глобальные тенденции развития авиастроения и гражданской авиации**, поскольку российская авиация является неотъемлемой частью мировой, а развитие техники происходит по объективным закономерностям, общим для всего мира. В то же время подробно рассматриваются **проблемы и особенности развития гражданской авиации и авиастроения в России**, что необходимо для выявления «внутренних барьеров» и учета национальных интересов. Необходимо учесть страновую специфику России, ресурсные ограничения и социально-экономические потребности, обеспечивая реалистичность прогноза и его направленность на решение актуальных для страны задач.

С учетом выявленных особенностей формируются **требования краткосрочной, среднесрочной и долгосрочной перспективы**

к гражданской авиации и авиационной технике в России для достижения национальных целей развития Российской Федерации в сфере социально-экономического и научно-технологического развития, обеспечения национальной безопасности страны. Как результат, **определяется перечень вызовов и приоритетных задач технологического развития российского авиастроения на трех горизонтах планирования. Выделяются приоритетные направления развития основных видов перспективной авиационной техники, а также «сквозные» направления развития технологий в гражданском авиастроении в среднесрочной перспективе.**

Особое внимание в Прогнозе уделяется вопросам **долгосрочного планирования технологического развития авиации и авиастроения.** На основе опыта разработки технологий текущего технологического уклада и анализа эффективности перспективной авиационной техники новых технологических укладов определяются **долгосрочные проблемы и барьеры технологического развития авиации.** Тем самым определяются **приоритетные направления развития технологий авиастроения в долгосрочной перспективе, разделенные на дисциплинарные группы, и пределы эффективности их применения.** Основу для технологических прорывов обеспечивают достижения фундаментальной науки. Для преодоления долгосрочных барьеров развития авиации выделяются **приоритетные направления ориентированных фундаментальных исследований в интересах авиастроения.** Их реализация позволит расширить границы возможного и сформировать задел для развития прикладной науки в поисках инструментов для ответа на долгосрочные вызовы.

Таким образом, технологический прогноз развития гражданского авиастроения выступает стратегическим ориентиром, позволяющим:

- определить перспективные траектории развития авиации и авиастроения на разных временных горизонтах: от текущих решений, несколько улучшающих характеристики, до решения амбициозных задач дальнего будущего;

- формировать стратегии и планы мероприятий, необходимых для поэтапного достижения долгосрочных целей развития авиастроения и гражданской авиации в России.

Актуальность разработки прогноза научно-технологического развития авиастроения



Эффективное управление созданием и внедрением технологий авиастроения в обеспечение национальных интересов Российской Федерации требует регулярной актуализации долгосрочного (от 15 лет) прогноза научно-технологического развития (далее – НТР) авиастроения. Со времени разработки в России предшествующих прогнозных и плановых стратегических

документов в области авиастроения, авиационной науки и технологий (в т.ч. Форсайта авиационной науки и технологий до 2030 года и на дальнейшую перспективу¹, 2012 г., первой редакции Плана деятельности ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского» по развитию науки и технологий в авиастроении на 2016-2030 годы, 2016 г., и т.п.) произошел ряд существенных изменений. Прежде всего:

– за прошедшие 10-15 лет были проведены масштабные прикладные исследования и разработки как в зарубежном, так и в российском авиастроении (в частности, в России началась реализация нескольких комплексных научно-технологических проектов (далее – КНТП), направленных на создание интегрированного научно-технического задела для разработки образцов авиационной техники (далее – АТ) следующего технологического уклада (далее – ТУ)), некоторые их результаты были внедрены при создании новых и модернизации современных образцов авиационной техники;

– как за рубежом, так и в России уточнены сферы эффективного применения различных групп новых технологий (например, внедрение полимерно-композитных материалов в конструкции, применение электрических и гибридных силовых установок, использование энергоносителей, альтернативных углеводородным топливам из ископаемого сырья, применение новых компоновочных схем воздушных судов (далее – ВС), беспилотных авиационных систем и т.п.);

– изменились требования к авиации и авиационной технике, предъявляемые национальными властями на основе рекомендаций Международной организации гражданской авиации (далее – ИКАО), а также изменились сами подходы к техническому регулированию в авиации (например, схема возмещения выбросов углекислого газа CORSIA знаменует принципиально иной подход к регулированию воздействия авиации на окружающую среду по сравнению с традиционным нормированием вредных выбросов);

– радикально изменились условия функционирования и развития российских авиации и авиастроения вследствие санкционных войн против Российской Федерации со стороны ведущих зарубежных авиастроительных держав, прекращения поставок новой авиационной техники и компонентов для российской продукции (а также оборудования, программного обеспечения и т.п. для ее разработки и производства), прекращения послепродажной поддержки импортной авиационной техники для обеспечения ее обслуживания и ремонта, играющей в постсоветский период определяющую роль в российской авиатранспортной системе.

Учитывая потребность в обеспечении связанности территории страны, последнее обстоятельство диктует необходимость

¹Авиационная наука и технологии 2030: Форсайт, Основные положения. М.: изд. ФГУП «ЦАГИ». 2012, 44 с.

достижения технологического суверенитета России в области авиации и авиастроения, самостоятельной разработки технологий с учетом ограниченности располагаемых ресурсов и масштабов доступных рынков. Развитие российского авиастроения, в отличие от предыдущего «рыночного» этапа, основанного на глубокой международной кооперации, уже продолжается в автономном, почти автаркическом режиме, и – по объективным причинам – при решающей поддержке государства, исходя не из коммерческих, а из социальных критериев. Кроме того, вынужденное размежевание российского авиастроения и гражданской авиации с ведущими мировыми центрами в этой области заставило российские предприятия, научные центры, органы государственного управления отказаться от безусловного подчинения «международным» правилам и требованиям (которые нередко не только не учитывали реальных возможностей и специфики Российской Федерации, но и прямо противоречили ее национальным интересам, являясь инструментами глобальной конкуренции).

Помимо собственно способности самостоятельно создавать и применять новые технологии, для обеспечения устойчивого технологического суверенитета страны требуется и когнитивный суверенитет, т.е. самостоятельность в формировании требований к авиационной технике, целеполагании и планировании развития технологий. Поэтому Прогноз должен учитывать не только и не столько глобальные тенденции технологического развития авиастроения и стратегии ведущих зарубежных центров авиастроения, сколько национальную специфику требований к перспективной авиационной технике и национальные интересы России в части, касающейся авиационной деятельности. Предыдущие прогнозные и плановые документы в области развития науки и технологий в авиастроении, разработанные ранее в Российской Федерации, во многом некритически копировали свои зарубежные аналоги, «глобальные тренды».

Предлагаемый Прогноз сформирован как первый суверенный прогноз научно-технологического развития авиастроения в России. Он используется при планировании комплекса новых прикладных исследований и комплексных научно-технологических проектов, в т.ч. предполагаемых к реализации после 2025-2030 гг. Кроме того, указанный Прогноз должен учитываться при планировании ориентированных фундаментальных исследований в организациях фундаментальной науки для создания фундаментального научного задела, необходимого для разработки технологий следующего технологического уклада. В соответствии с выявленными в Прогнозе перспективными направлениями ориентированных фундаментальных исследований в интересах авиации, необходимо планировать формирование и развитие соответствующих центров компетенций в организациях фундаментальной науки России, подготовку научных

и инженерных кадров. Такое системное программно-целевое планирование развития научно-технологического комплекса России (включая как авиастроение и смежные высокотехнологичные отрасли, так и организации фундаментальной науки и высшего образования) повысит эффективность использования ограниченных ресурсов для скорейшего создания и внедрения новых знаний и технологий.

Методология прогнозирования и структура прогноза научно-технологического развития авиастроения



Прогнозирование научно-технологического развития авиастроения включает в себя два взаимодополняющих процесса: прогнозирование потребностей в развитии технологий (вытекающих из требований общества, экономики, государства) и прогнозирование возможностей, опирающееся на фундаментальные свойства технологий и возможности их реализации в перспективных образцах авиационной техники. При этом, в обоих процессах предпочтение следует отдавать не экспертным мнениям, а, по возможности, объективным модельным расчетам. Даже упрощенные модели с объяснимой логикой и предпосылками позволяют более объективно оценивать как будущие потребности, так и возможности развития технологий, по сравнению с обобщением экспертных мнений, получать более содержательные и неочевидные выводы, предвидя качественные изменения, выходящие за рамки опыта даже самых авторитетных экспертов.

Динамика развития технологий циклична, в ней выделяют так называемые технологические уклады – комплексы взаимосвязанных технологий, определяющих облик соответствующего периода развития. При этом исследования и разработки имеют четкую последовательность стадий: фундаментальные, прикладные исследования, затем опытно-конструкторские работы (далее – ОКР). В связи с этим прогнозирование технологического развития авиации и авиастроения в данном прогнозе осуществляется на трех горизонтах: краткосрочной перспективе (до 2030 г.), среднесрочной перспективе (2030-2040 гг.) и долгосрочной перспективе (2040-2050 гг.).

В краткосрочной перспективе решение актуальных задач и проблем развития авиации в России может быть осуществлено посредством оптимизации использования уже существующей авиационной техники или ее усовершенствования с помощью уже разработанных технологий текущего, N-го технологического уклада. Инертность, большая длительность стадий жизненных циклов изделий авиационной техники не позволят осуществить радикальные изменения в облике авиации в ближайшие несколько лет.

Приоритетные группы и комплексы технологий следующего, N+1-го технологического уклада уже сейчас развиваются в рамках прикладных научно-исследовательских работ (далее – НИР) и КНТП, направленных

на доведение технологий до высоких уровней готовности (УГТ 6 – по общепринятой шкале) и их системную интеграцию в рамках целостных обликов перспективных образцов авиационной техники, актуальных для России. С 2030-2035 гг. становится возможным и должно планироваться начало разработки серийных образцов продукции на основе этих технологий. Формирование обликов указанных перспективных образцов авиационной техники, а также развитие «сквозных» технологий N+1-го технологического уклада определяют приоритетные направления развития авиационных технологий в среднесрочной перспективе.

Однако за горизонтом 2040-2050 гг. и для нового N+1-го технологического уклада неизбежно исчерпание обусловленных законами природы пределов совершенствования технологий, причем более амбициозным требованиям долгосрочной перспективы они уже не будут удовлетворять. И для непрерывного воспроизводства опережающего научно-технического задела (далее – НТЗ) необходимо в рамках ориентированных фундаментальных и поисковых исследований искать или даже целенаправленно создавать фундаментальный научный задел для следующего, N+2-го технологического уклада. Для формирования программы таких фундаментальных и поисковых НИР по созданию научного задела для следующего, N+2-го технологического уклада, необходимы выявление и систематизация составляющих фундаментального научного задела, потенциально перспективных для ответа на вызовы долгосрочного развития российской авиации, а также оценка перспективности и пределов их развития, обусловленных фундаментальными законами природы.

На рисунке 1 отражена описанная динамика последовательной смены технологических укладов и перехода технологий, составляющих их ядро, из стадии фундаментальных исследований сначала в прикладные, а потом и в ОКР по созданию серийных образцов АТ, и, наконец, в стадию производства и эксплуатации АТ.

На рисунке 2 наглядно показана логика описанных процессов прогнозирования научно-технологического развития авиастроения на всех трех горизонтах – кратко-, средне- и долгосрочном.



Рисунок 1 – Динамика смены технологических укладов и видов исследований и разработок в авиастроении

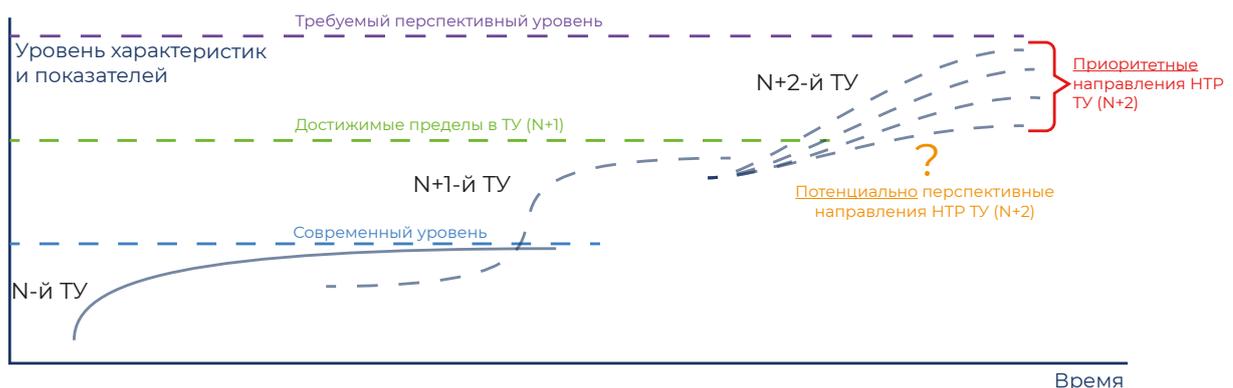


Рисунок 2 – Методология и этапы разработки долгосрочного прогноза научно-технологического развития авиастроения

Цели технологического развития авиации и авиастроения —

Прогнозирование требований к авиации будущего и технологиям авиастроения опирается на генеральные цели развития авиации с точки зрения общества и экономики. Место авиации в социально-экономической системе наглядно показано на рисунке 3. Авиационная промышленность производит АТ и обеспечивает ее послепродажное обслуживание; в свою очередь, гражданской авиацией выполняются перевозки пассажиров и грузов, а также разнообразные авиационные работы. Результаты авиационной деятельности востребованы другими отраслями экономики и непосредственно населением. Однако, помимо полезного эффекта, имеют место и вредные воздействия, такие как техногенная опасность, ущерб окружающей среде. Уровень всех этих вредных и полезных эффектов зависит от характеристик технологий авиастроения.

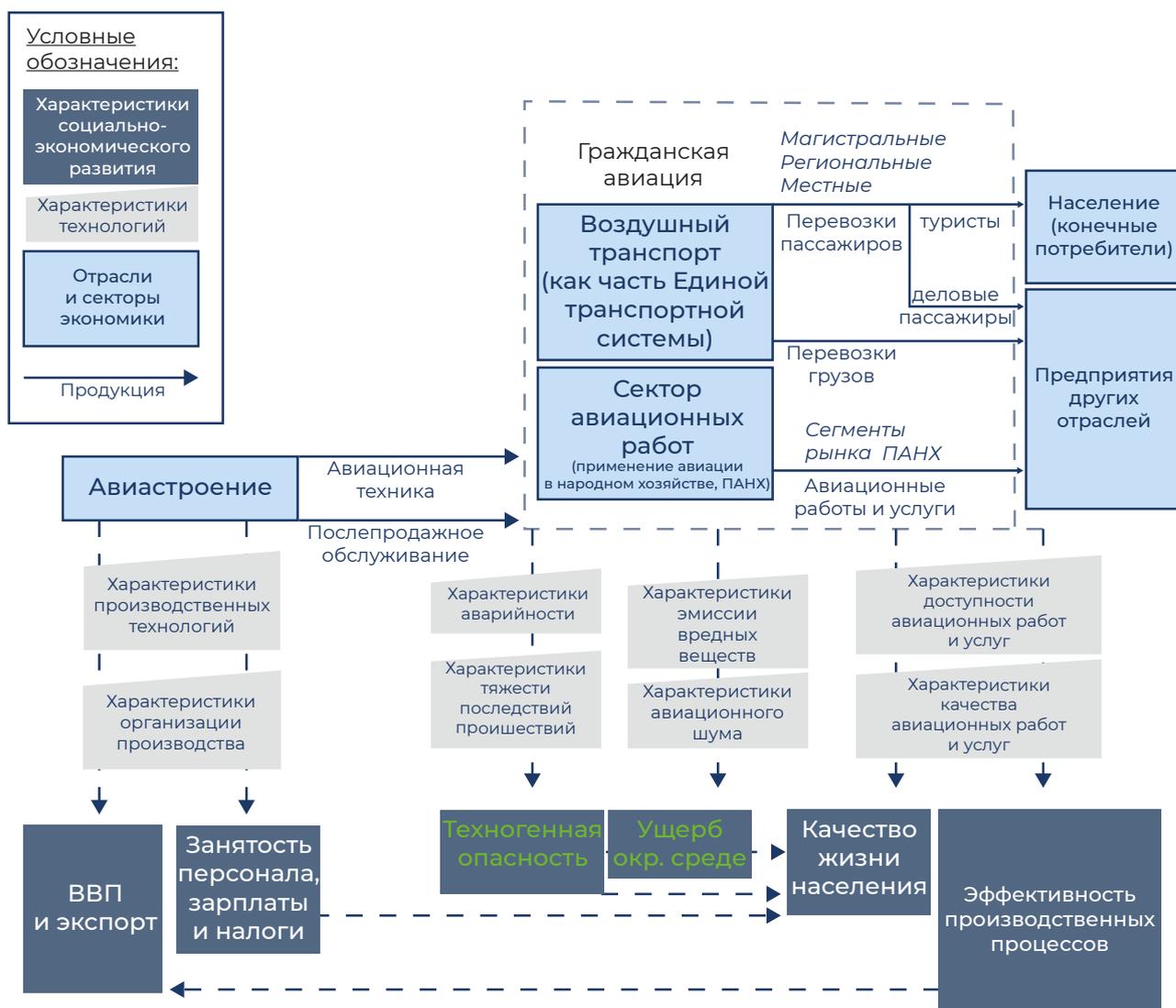


Рисунок 3 – Влияние гражданской авиации и авиастроения на социально-экономическое развитие страны

Из такого понимания места авиации в национальной экономике вытекают генеральные цели развития технологий в области гражданского авиастроения:

- повышение комплексной безопасности авиационной деятельности (в т.ч. разработки, производства, технической и летной эксплуатации АТ);
- снижение вредного воздействия авиационной деятельности (в т.ч. разработки, производства, технической и летной эксплуатации, утилизации АТ) на окружающую среду;
- сокращение стоимости (повышение доступности) транспортных и иных авиационных работ и услуг, оказываемых с помощью АТ российского производства;
- повышение качества транспортных и иных авиационных работ и услуг;
- обеспечение приемлемых себестоимости и длительности разработки, производства, технического обслуживания и ремонта АТ;

– обеспечение технологического суверенитета в области авиации, т.е. самостоятельной разработки, производства, технического обслуживания и ремонта АТ и ее компонентов, критически важной для обеспечения национальной безопасности.

Эти генеральные цели универсальны, но в каждой стране они могут иметь различную значимость, целевые показатели и пути достижения.

Тенденции развития мировой гражданской авиации и авиастроения



Мировая гражданская авиация активно развивается и играет критически важную роль в мировой экономике. Воздушный транспорт является одним из основных видов транспорта в дальнем сообщении, а также обеспечивает транспортную доступность регионов, в которых не рационально применение иных видов транспорта. Использование воздушного транспорта повышает мобильность пассажиров и скорость доставки грузов, улучшает качество жизни населения и условий для бизнеса, а также является одним из основных факторов развития туристической отрасли. Гражданская авиация также выполняет авиационные работы для различных отраслей экономики и органов государственной власти. Суммарно в мировой гражданской авиации и авиастроении занято свыше 85 млн. человек, авиационный комплекс отраслей обеспечивает прямой вклад в экономику на уровне 4 % мирового валового продукта, без учета мультипликативных эффектов в различных отраслях.

Воздушный транспорт во всем мире, несмотря на кризисы, демонстрирует долговременную тенденцию к росту объемов перевозок пассажиров и грузов, совокупного пассажиро- и грузооборота (см. рисунок 4).

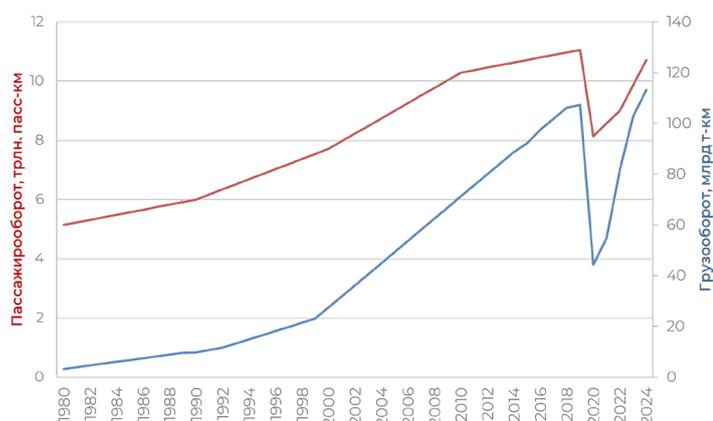


Рисунок 4 – Изменение пассажиро- и грузооборота в мире в период 1980-2024 гг.

После локальных спадов, вызванных пандемией COVID-19, природными катаклизмами, террористическими актами и геополити-

ческими конфликтами, происходит быстрое восстановление рынка с дальнейшим его развитием. По данным ИАТА, с 2010 по 2019 гг. количество перевезенных пассажиров выросло с 2,5 до 4,5 млрд. пасс., в 2024 г. превзойдён допандемийный уровень 2019 г. после падения на 60 % в 2020 г. Таким образом, в мире к настоящему времени достигнута авиационная подвижность в среднем более 0,62 полета на человека в год. В свою очередь, объем грузовых авиаперевозок с 2010 г. вырос всего на 38% и в 2024 г. составил 68,5 млн. тонн, что уступает наземному и водному транспорту на два и три порядка соответственно. Однако по воздуху перевозятся наиболее дорогостоящие или срочные грузы, поэтому доля авиации в общей стоимости грузов, перевезенных всеми видами транспорта в международном сообщении, составляет около 35 %.

Указанные количественные значения перевезенных пассажиров и грузов (возросшие на три порядка с 1950-х гг.) были достигнуты за счет снижения стоимости авиаперевозок, количества авиационных происшествий и причиненного ими ущерба, и обеспечены, в основном, технологическим развитием отрасли (при сопутствующем росте благосостояния населения, в т.ч. в развивающихся странах). При этом дальнейшее снижение стоимости авиаперевозок не является приоритетным для развитых стран, в которых уже достигнут уровень авиационной подвижности населения около 3 полетов на человека в год, особенно с учетом дороговизны и высоких рисков разработки и внедрения новых технических решений в данной области.

В то же время рост объемов авиаперевозок создает новые масштабные вызовы². В целом в мире ежегодно совершается свыше 40 млн. рейсов, а одновременно в воздухе находится в среднем 11,5 тыс. воздушных судов (см. рисунок 5). Крупнейшие аэропорты мира уже обслуживают от 50 до 100 млн. пассажиров в год и до 910 рейсов в день. Причем, средний налет среднемагистральных и дальнемагистральных самолетов в крупнейших авиакомпаниях уже очень высок и составляет соответственно около 12 и 16 часов в сутки. Такая тенденция порождает вызовы с точки зрения пропускной способности авиатранспортной инфраструктуры и определяет новые требования к системам организации воздушного движения, бортовому и наземному оборудованию, инфраструктуре воздушного пространства и аэропортов, к соответствующим технике и технологиям, в т.ч. в части обеспечения безопасности полетов.

²Официальный сайт ИАТА – URL: www.iata.org

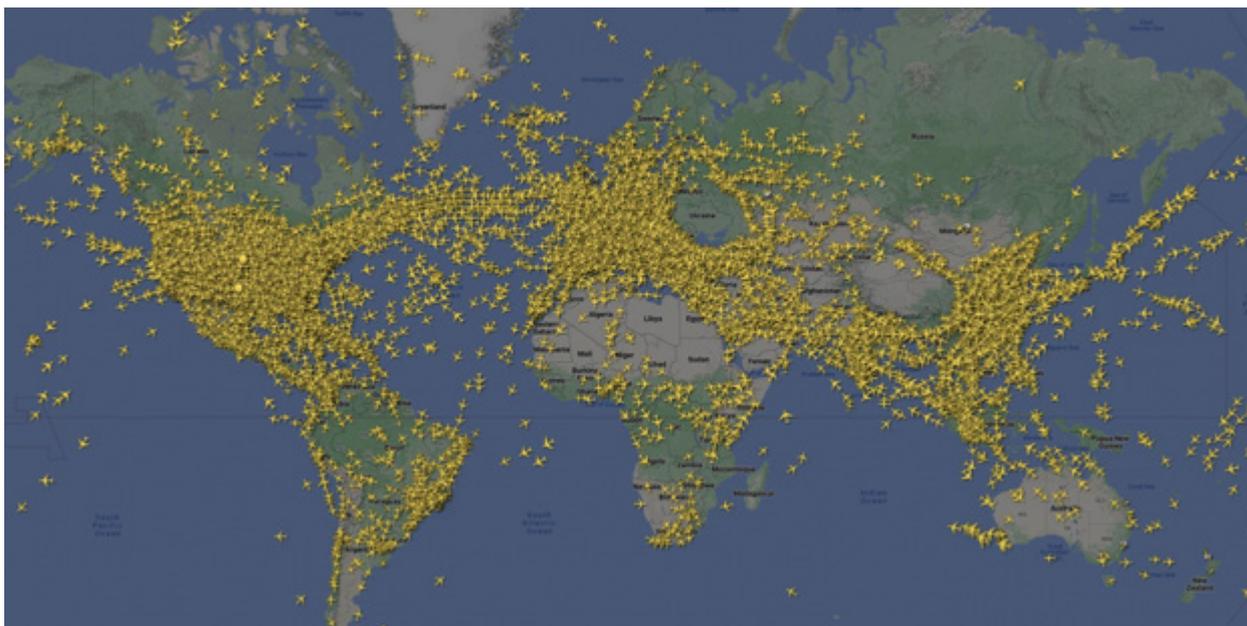


Рисунок 5 – Воздушные суда, находящиеся одновременно в воздухе³

Доля мировой гражданской авиации в совокупных антропогенных выбросах парниковых газов и иных вредных веществ составляет около 2 %, что, на первый взгляд, несущественно. Однако дальнейший рост объемов авиаперевозок и авиационных работ при исчерпании резервов улучшения удельных показателей эмиссии вредных веществ приведет к существенному возрастанию вклада авиации в общее антропогенное воздействие на окружающую среду, особенно с учетом планируемого внедрения технологий с малым уровнем воздействия на окружающую среду в других отраслях экономики, в т.ч. в наземном и водном транспорте.

ИКАО, регулирующей развитие авиации, совместно с национальными властями крупнейших авиационных держав мира ставятся долгосрочные желательные цели развития авиации в сфере защиты окружающей среды. В 2022 г. была принята Долгосрочная желательная цель (Long-Term Aspirational Goals – LTAG)⁴, предусматривающая достижение углеродной нейтральности в области международных авиационных перевозок к 2050 г. Для реализации этой цели предложены меры, включающие разработку и внедрение новых авиационных технологий, оптимизацию авиационных операций, использование альтернативных видов авиационного топлива и меры рыночного регулирования.

В качестве основной меры рыночного регулирования, начиная с 2027 г., будет применяться Схема возмещения и сокращения эмиссии углерода для международной авиации (Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation – CORSIA), навязанная остальному миру странами, уже достигшими высокой авиационной подвижности.

³ По данным транспондеров системы АЗН-В, интернет-ресурс – URL: www.flightradar.com

⁴ Официальный сайт ИКАО – URL: www.icao.int/environmental-protection/Pages/LTAG.aspx

Для стимулирования использования альтернативных видов топлива в 2023 г. была принята Глобальная рамочная программа ИКАО в области топлив, соответствующих требованиям устойчивого развития (Sustainable Aviation Fuel – SAF), низкоуглеродных топлив из ископаемого сырья (Low Carbon Aviation Fuels – LCAF) и других более чистых источников энергии для авиации, предусматривающая сокращение эмиссии парниковых газов в области международных авиационных перевозок на 5% к 2030 г. исключительно за счет использования альтернативных видов авиационного топлива. Несмотря на актуальность указанных долгосрочных целей в интересах защиты окружающей среды, осуществляемое техническое регулирование развития авиации является также инструментом геополитической конкуренции, а выполнение описанных международных требований все более затруднительно для развивающихся стран в связи с более высокими темпами роста авиационного рынка и подвижности населения по сравнению с развитыми странами.

В области обеспечения безопасности полетов развитие авиационных технологий и подходов к организации эксплуатации авиационной техники позволило, несмотря на многократный рост объемов авиаперевозок, сократить не только удельное, но и абсолютное количество авиационных происшествий и ущерб от них (см. рисунок 6)⁵.



Рисунок 6 – Ежегодное количество авиационных происшествий со смертельным исходом в мире в 1961-2024 гг.

⁵ Airbus, Statistical Analysis of Commercial Aviation Accidents 1958-2024

По данным ИКАО, количество авиационных происшествий и инцидентов в мировой гражданской авиации сократилось со 114 в 2019 г. до 42 – в 2022 г. и до 30 – в 2023 г., что является лучшим показателем за последние 5 лет. Удельное количество авиационных происшествий на 1 млн. рейсов⁶ составило 1,09 в 2023 г., 1,13 – в 2024 г. и в среднем за последние 5 лет – 1,25. ИКАО и национальные авиационные власти ведущих авиационных держав ставят еще более амбициозные желательные цели. Глобальный план обеспечения безопасности полетов ИКАО декларирует цель сокращения числа погибших в авиационных происшествиях до нуля в 2030 г. При этом сертификационные требования летной годности гражданских воздушных судов и достигнутый уровень их безотказности уже обеспечивают практическую невероятность авиационных происшествий по причинам отказов авиационной техники (вероятность катастрофической ситуации – в пределах 10^{-9} на час полета).

Современные образцы гражданской авиационной техники все более надежны и безопасны (см. рисунок 7). Преобладающей причиной авиационных происшествий и инцидентов на данном этапе развития мировой гражданской авиации остаются неблагоприятные проявления человеческого фактора в сфере летной и технической эксплуатации авиационной техники, управления воздушным движением (УВД).

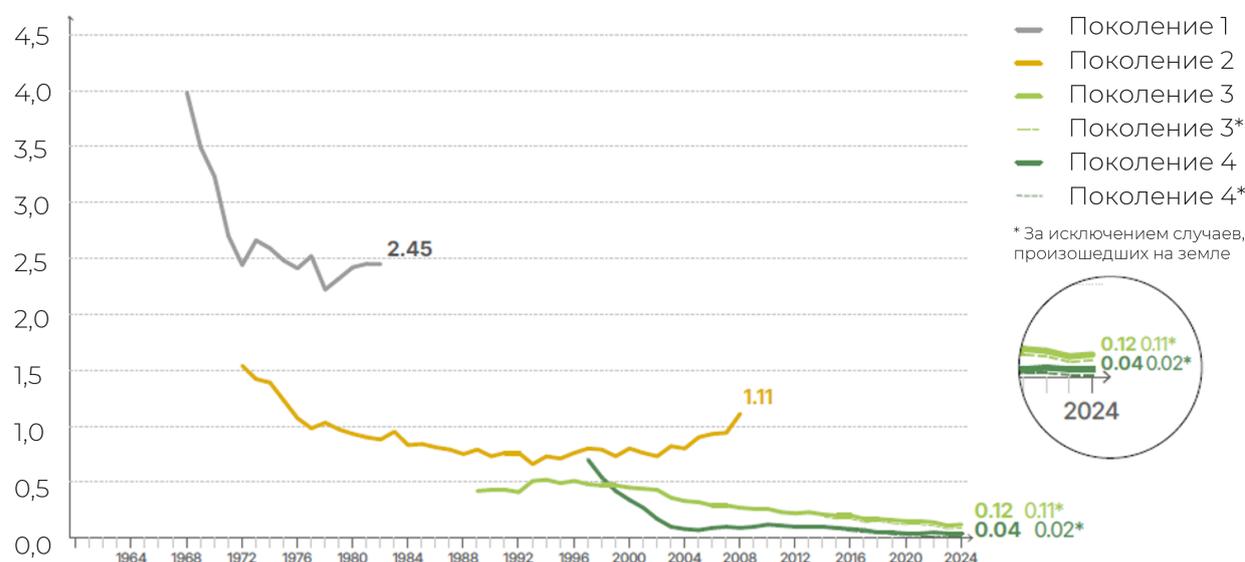


Рисунок 7 – Изменение средней частоты авиационных происшествий со смертельным исходом (на миллион полетов на 10-летнем интервале) для различных поколений гражданских ВС в 1959-2024 гг.

Мировая гражданская авиация весьма уязвима по отношению к геополитическим рискам, военным конфликтам,

⁶ IATA 2024 Safety Report

террористическим актам, нарушающим транспортные связи, а также к несанкционированным вмешательствам в ее работу. Именно угрозы безопасности пассажиров, экипажей и третьих лиц были причинами наиболее масштабных спадов объемов авиаперевозок в истории, что делает обеспечение авиационной безопасности (наряду с безопасностью полетов) одним из главных вызовов для развития гражданской авиации.

Ряд природных катаклизмов (извержения вулканов, аномальные климатические изменения) подчеркивает уязвимость гражданской авиации по отношению к природным условиям и обуславливает необходимость расширения допустимых условий безопасной эксплуатации воздушных судов.

Прогнозируется качественное расширение сферы гражданской авиации как в части воздушного транспорта, так и сектора авиационных работ, ожидается появление и развитие новых рыночных ниш. Планируется создание систем авиационной мобильности, в т.ч. в крупнейших агломерациях. Развитие беспилотной авиации открывает новые емкие сегменты авиационных работ, грузовых и почтовых перевозок. Развитие данных рынков обеспечит многократный рост численности воздушных судов, повышение интенсивности воздушного движения и сложности операций, а также обуславливает необходимость безопасной интеграции беспилотных авиационных систем в единое воздушное пространство, что порождает новые вызовы для технологий управления движением воздушных судов и управления воздушным движением, обеспечения авиационной безопасности и кибербезопасности в авиации.

Также несмотря на то, что воздушный транспорт остается наиболее скоростным из всех видов транспорта, имеется потребность в дальнейшем повышении скорости магистральных перевозок, в т.ч. освоении сверхзвуковых полетов. Перспективные требования к комфорту пассажиров включают в себя необходимость обеспечения комфортабельных условий для отдыха и работы на борту, в т.ч. обеспечения необходимой мощности систем энергоснабжения, связи и жизнеобеспечения.

Основная тенденция развития гражданской авиации и авиастроения в мире состоит в повышении уровня системной интеграции. Отдельные ВС не являются самостоятельным товаром в современном мире. Показатели достижения целей развития авиации и авиастроения (в т.ч. безопасности полетов, доступности и качества авиаперевозок и авиационных работ, воздействия на окружающую среду) достигаются и измеряются лишь на уровне крупномасштабных организационно-технических систем, прежде всего, авиатранспортных систем (далее – АТС), включающих в себя как парк АТ, так и наземную инфраструктуру, системы управления воздушным движением, технического обслуживания и ремонта, логистического обеспечения эксплуатации АТ (см. рисунок 8).

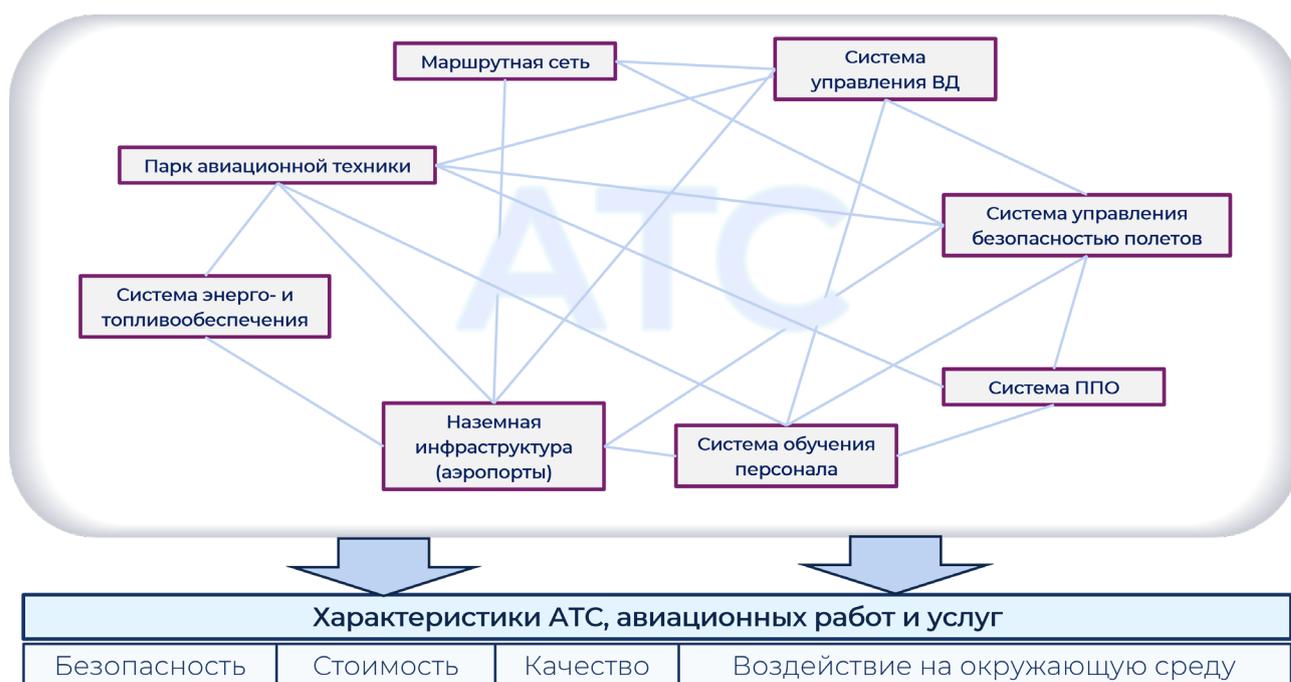


Рисунок 8 – АТС как среда, в которой формируются авиационные работы и услуги

Размываются границы отдельных авиакомпаний и других поставщиков услуг, формируются интегрированные экосистемы в сфере гражданской авиации и авиастроения, направленные на оптимальное использование и воспроизводство общих ресурсов (парков воздушных судов, объектов инфраструктуры, авиационного персонала) для предоставления доступных и качественных услуг в любой точке мира путем кооперации поставщиков услуг на базе распределенных информационно-управляющих сетей. Возникает потребность в формировании комплексных многоуровневых (от отдельной эксплуатирующей организации, предприятий-разработчиков АТ, до уровня национальной и глобальной авиатранспортной системы) систем управления безопасностью полетов и авиационной деятельности в целом.

Проблемы и особенности развития гражданской авиации в России



Гражданская авиация в России играет ключевую роль в обеспечении транспортной связанности территории страны в силу ее значительной протяженности и наличия отдаленных, труднодоступных и малонаселенных регионов (далее – ОТДМР), занимающих около 67 % от всей площади (см. рисунок 9).

На маршрутах с малыми потоками пассажиров и грузов воздушный транспорт является наиболее предпочтительным, поскольку не требует создания и обслуживания протяженной путевой или дорожной инфраструктуры, а также позволяет значительно быстрее преодолеть

большие расстояния. Авиаперевозки являются безальтернативным видом транспорта для ряда территорий в связи со сложными природно-климатическими условиями (см. рисунок 10).

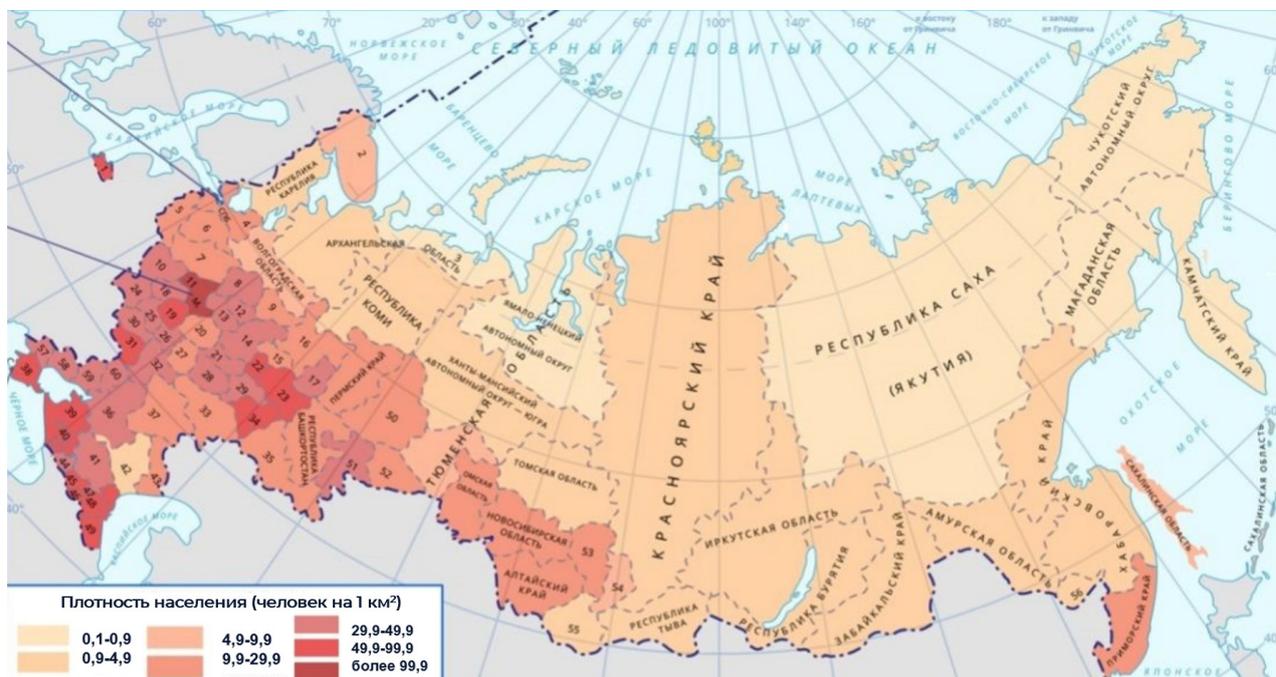


Рисунок 9 – Распределение регионов России по плотности населения (на 2020 г.)



Рисунок 10 – Расположение поселений в России, удаленных от железнодорожной сети более чем на 100 км по ортодромии (оранжевые – отнесённые к районам Крайнего Севера, синие – прочие).

Территориальная и экономическая специфика страны также обуславливает значительный потенциал применения авиации для выполнения авиационных работ и услуг для различных отраслей экономики.

В СССР гражданская авиация обеспечивала доступность авиаперевозок для большинства населения и значения авиационной подвижности в среднем 0,6 поездок на человека в год. Так, в 1990 г. на территории России воздушным транспортом было перевезено около 91 млн. пасс., пассажирооборот составил 160 млрд. пкм. В авиационной сети преобладали прямые межрегиональные маршруты между регионами России, а также союзными республиками, и только четверть поездок осуществлялась через московский авиационный узел. На 1991 г. аэродромная сеть общего пользования насчитывала 1450 аэропортов. Такие высокие показатели были обусловлены социальной ориентированностью отрасли гражданской авиации, которая в значительной степени функционировала благодаря масштабному субсидированию и централизованному управлению.

После распада СССР произошло сокращение покупательной способности населения, а также возможностей государства субсидировать авиаперевозки и авиационные работы, что привело к существенному снижению числа авиационных связей. Объем авиаперевозок сократился к 1999 г. в 4 раза – до 22 млн. пассажиров в год, авиационная подвижность населения упала до уровня 0,18 поездок на человека в год, причем авиаперелеты оставались доступными для менее чем 15 % населения. С 1990 г. по настоящее время количество аэропортов в России сократилось более чем в 6 раз: с 1450 до 225.

В 2000-е гг. начался восстановительный рост российской гражданской авиации. С 2009 по 2019 гг. объемы перевозок пассажиров и пассажирооборот в России выросли почти в 3 раза. В 2019 г. гражданская авиация России достигла максимальных объемов авиаперевозок: было перевезено около 131 млн. пасс., а пассажирооборот достиг 323 млрд. пкм⁷. Подвижность населения достигала пикового значения 0,87 полета в расчете на одного жителя в год. При этом, значительная доля этих объемов (около 43 % от общего пассажирооборота за 2019 г.) была выполнена на международных авиалиниях.

Рост объема авиаперевозок был достигнут преимущественно за счет сегмента магистральных перевозок, базирующегося на рыночных механизмах обеспечения приемлемой загрузки воздушных судов и формирования маршрутной сети авиакомпаний по критерию максимальной прибыли при выполнении транспортной работы. Это привело к централизации маршрутной сети через аэропорты Московского авиационного узла (75 % перевозок в 2018 г.) и малым объемам прямых межрегиональных авиаперевозок (см. рисунок 11), что отрицательно сказалось на качестве транспортного обслуживания из-за принудительного увеличения протяженности маршрутов. Таким образом, увеличение пассажирооборота опережает рост объемов перевозок.

⁷ Росстат, – URL: www.rosstat.gov.ru.

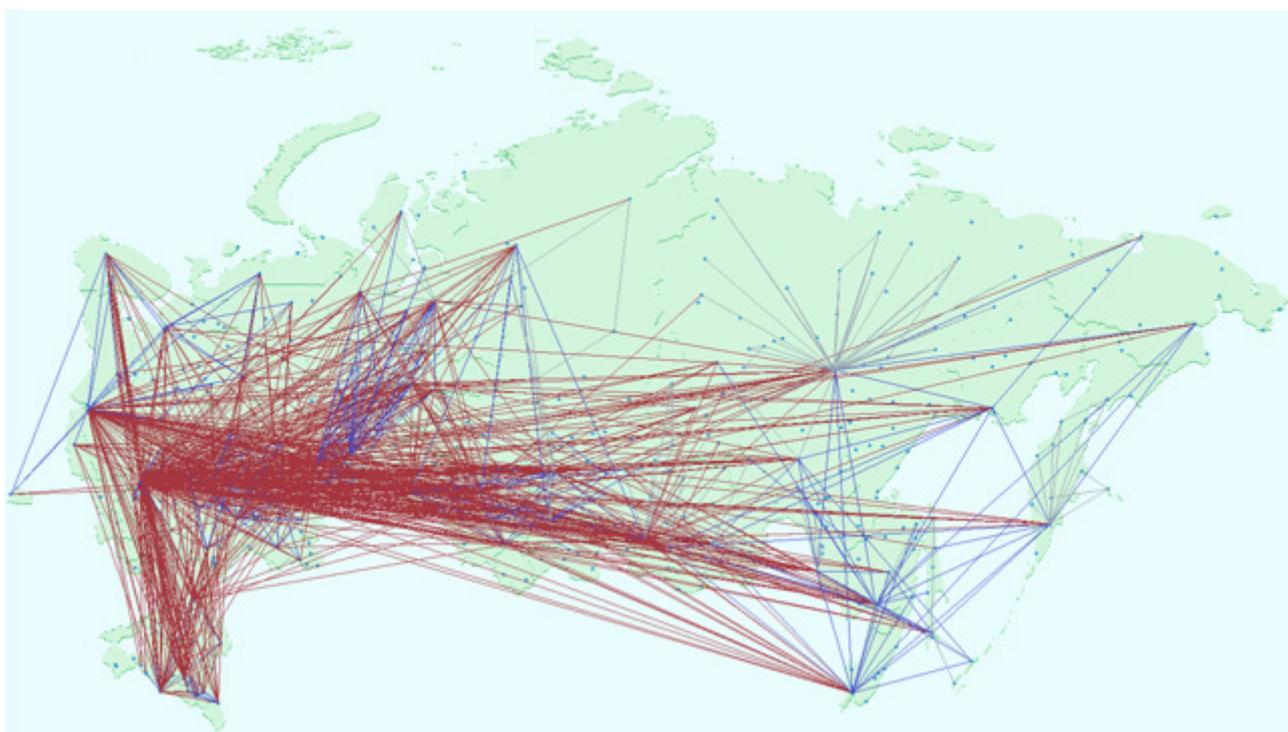


Рисунок 11 – Авиатранспортная сеть РФ в 2024 г.: наиболее нагруженные магистральные авиалинии (красные), межрегиональные (синие) и внутрирегиональные (серые), а также действующие аэропорты (голубые точки)

Пандемия COVID-19 привела к резкому сокращению пассажирских авиаперевозок, однако уже в 2021 г. российские авиакомпании перевезли 111 млн. пасс. Более 87 % пассажиров было перевезено на внутренних воздушных линиях, поэтому имело место минимальное влияние пандемии на транспортную связанность территорий страны (в т.ч. и в части грузовых перевозок), в отличие от санкций зарубежных стран на поставки и обслуживание ВС и ограничений международного авиасообщения, введенных с 2022 г. В сложившихся условиях прогнозные объемы авиаперевозок до 2030 г. и далее существенно сократились. В краткосрочной перспективе, до 2030 г., ставится задача обеспечения планируемых объемов перевозок с помощью авиационной техники, имеющейся в парке авиакомпаний, и строящихся ВС отечественного производства⁸.

В условиях санкций, ограничивающих доступ к зарубежным самолётам и комплектующим, российские авиакомпании вынуждены применять комплекс адаптационных мер. Если раньше экономические модели авиакомпаний были нацелены на получение основной доли прибыли с международных перевозок, то теперь, ввиду сокращения провозных мощностей и роста доли внутренних перевозок (требования по обеспечению авиационной подвижности и связанности территорий), а также ограниченных государственных ресурсов на

⁸ Единый план по достижению национальных целей развития России до 2030 года и на перспективу до 2036 года от 09.01.2025 г.

субсидии авиаперевозок, необходимо повышение эффективности эксплуатации парка, включая пересмотр маршрутной сети. Ожидается переориентация на внутренние и «дружественные» рынки, консолидация перевозчиков, фокусировка на управление спросом. В рамках стратегической оптимизации маршрутной сети ключевыми мерами являются создание региональных узлов (хабов), сокращение убыточных направлений, усиление популярных маршрутов.

Социально-экономическое развитие Российской Федерации, обеспечение ее национальной безопасности требует повышения связанности территорий⁹ и качественного улучшения транспортного обслуживания территории, населения и отраслей экономики. Основным драйвером развития региональных и местных авиаперевозок в среднесрочной перспективе, на рубеже 2036-2040 гг., является введение на государственном уровне целевых показателей времени в пути между населенными пунктами, количественных требований по децентрализации маршрутной сети, а также роста субсидирования маршрутов. Однако достижение целей развития транспортного комплекса, определенных документами стратегического планирования, в части гражданской авиации затрудняется рядом факторов.

Согласно проведенным в Центре расчётам достижение целевых значений авиационной подвижности и доступности авиаперевозок невозможно лишь за счет роста покупательной способности населения, требуется сокращение стоимости авиаперевозок для пассажиров, в т.ч. путем увеличения объемов государственного субсидирования и развития авиационных технологий.

Особенно остро стоят проблемы обеспечения функционирования Северного морского пути и улучшения авиатранспортного обслуживания отдаленных труднодоступных и малонаселенных регионов, где подвижность населения составляет от 0,03 до 0,3-0,4 полета на человека в год, учитывая, что воздушный транспорт является почти безальтернативным. Также в краткосрочной перспективе в этих регионах потребуется практически полное обновление парка воздушных судов. Сложные климатические условия, низкие доходы и малая плотность населения накладывают жесткие и противоречивые требования на допустимые условия базирования и эксплуатации авиационной техники, уровень эксплуатационных затрат и вместимость воздушных судов, сложность и периодичность работ по техническому обслуживанию и ремонту. С другой стороны, государство ставит приоритеты по развитию Дальневосточного региона и регионов Крайнего Севера. Для обеспечения роста регулярности рейсов и сокращения времени в пути потребуется увеличение государственного субсидирования авиакомпаний и аэропортовой инфраструктуры при существенном улучшении характеристик новой авиационной техники.

⁹ Стратегия научно-технологического развития Российской Федерации, утвержденная Указом Президента РФ от 28.02.2024 №145. – URL:www.kremlin.ru

В части требований по снижению воздействия авиации на окружающую среду, в отличие от стран с высокой плотностью населения, где на государственном уровне приняты амбициозные цели по снижению суммарных выбросов гражданской авиации, которые предполагается выполнять во многом за счет перераспределения потоков пассажиров на высокоскоростные железнодорожные магистрали, социально-экономическая специфика России диктует другой подход. Расчеты, проведенные специалистами Центра, показывают, что в малонаселенных регионах России организация местного авиасообщения, как правило, дает меньшие суммарные выбросы углекислого газа (и уровень прочих антропогенных воздействий на окружающую среду) по сравнению с организацией автотранспортного сообщения для связей между населенными пунктами с населением до 15-20 тыс. человек, расположенных на расстояниях от 150-200 км, даже при использовании имеющихся воздушных судов с высоким уровнем удельных расходов топлива (до 40-50 г на пасс-км) и удельных выбросов.

Потребность в соответствии перспективным международным требованиям по выбросам вредных веществ сохраняется только для магистральных воздушных судов для обеспечения международных авиаперевозок. Развитие межрегиональных и местных воздушных линий должно быть направлено на расширение условий их эффективной эксплуатации по сравнению с наземными видами транспорта, что соответствует в т.ч. и целям сокращения суммарного объема выбросов парниковых газов в транспортном комплексе России. При этом целесообразна разработка суверенных российских норм, учитывающих специфику страны, прежде всего, в части защиты уязвимых экосистем Арктики.

В перспективе авиатранспортная система Российской Федерации должна обеспечить мобильность пассажиров и грузов, прежде всего, на дальних расстояниях, связывая отдаленные регионы. Кроме того, согласно прогнозам Центра, предполагается развитие систем городской и пригородной авиационной мобильности, которое окажет позитивное влияние на пространственное развитие внутри регионов, оптимизацию систем расселения, размещения предприятий и социальных объектов, работу экстренных служб. Беспилотные авиационные системы обеспечат оперативную доставку, в т.ч. малых партий грузов и почты, существенно сократив ее стоимость в труднодоступных регионах. Также ожидается активное развитие рынков их применения в интересах отраслей экономики (т.е. рынков авиационных работ), включая сельское и лесное хозяйство, топливно-энергетический комплекс (далее – ТЭК) и др., для повышения эффективности их работы.



Авиастроение в СССР было ориентировано на обеспечение авиационной техникой гражданской и государственной авиации страны и ряда дружественных стран. На рубеже 1980-1990 гг. выпускалось порядка 80 только магистральных и региональных пассажирских самолетов, а в предыдущие годы выпуск ВС этих классов достигал 150 единиц в год. Достигнутая серийность выпуска обеспечивала снижение себестоимости, трудоемкости и длительности производства АТ благодаря эффектам освоения, рациональной механизации и автоматизации ряда производств. Переход к рыночной экономике, а также многократный спад объемов перевозок в России привели к кризису авиастроения в гражданском сегменте. Серийный выпуск новых гражданских ВС российского производства к концу 1990-х гг. практически прекратился в силу избытка уже произведенных ВС, конкуренции с зарубежной АТ, проблем в обеспечении послепродажного обслуживания новых типов АТ. Несоответствие требованиям зарубежных стран по защите окружающей среды, включая выбросы вредных веществ и уровни авиационного шума на местности, моральное устаревание советской АТ стимулировали процесс замещения отечественного парка зарубежной АТ. Прекращение серийного выпуска гражданской АТ вызвало рост технологического отставания российских авиастроительных предприятий от конкурентов. Произошла деградация производственного и кадрового потенциала авиационной промышленности, а также прикладной науки.

В военном сегменте российского авиастроения сохранились устойчивые закупки и применение государственными ведомствами отечественной АТ, позволив поддержать потенциал российского авиастроения в кризисный период. Образцы военной АТ российского производства оказались востребованными на мировом рынке, составляя в отдельные годы большую часть экспорта вооружений Российской Федерации. Также сохранилось серийное производство вертолетов (в основном двойного назначения) на уровне, удовлетворяющем потребности заказчиков. Значительную часть выпуска до сих пор составляют вертолеты грузоподъемностью около 5 тонн, являющиеся эволюционным развитием семейств Ми-8/17 советской разработки.

Восстановление российского гражданского авиастроения началось в 2000-х гг. уже на новой технологической и организационной основе и при решающей роли государственной политики и поддержки. Были разработаны, освоены в производстве и поступили в коммерческую эксплуатацию новые типы воздушных судов, авиадвигателей, причем большинство из них создавалось в глубокой международной кооперации, типичной для зарубежного авиастроения. Максимальный выпуск ближнемагистральных самолетов RRJ-95 составлял более 30 ВС в год. Однако производственная модель отрасли, глубоко

интегрированная в глобальные цепочки разделения труда, оказалась уязвимой перед внешнеполитическими и экономическими рисками. Санкционная война против Российской Федерации, которая обострилась с 2022 г., привела к полному прекращению поставок новой зарубежной гражданской АТ и импортных компонентов для производства отечественных ВС, а также послепродажной поддержки ранее поставленной гражданской АТ, включая обновление программного обеспечения, поставку запасных частей, навигационной и технической информации. Описанные изменения привели к риску возникновения дефицита провозных мощностей воздушного транспорта и послужили вызовом для развития российского авиастроения, заключающимся в необходимости обеспечения безопасного и эффективного функционирования российской гражданской и государственной авиации в режиме импортонезависимости.

В силу малой емкости внутреннего рынка и низкой серийности выпуска неизбежно повышение стоимости производства (от 30 %) и эксплуатации АТ (от 15 %) относительно современных зарубежных аналогов (даже при одинаковых используемых технологиях) (см. рисунки 12 и 13).

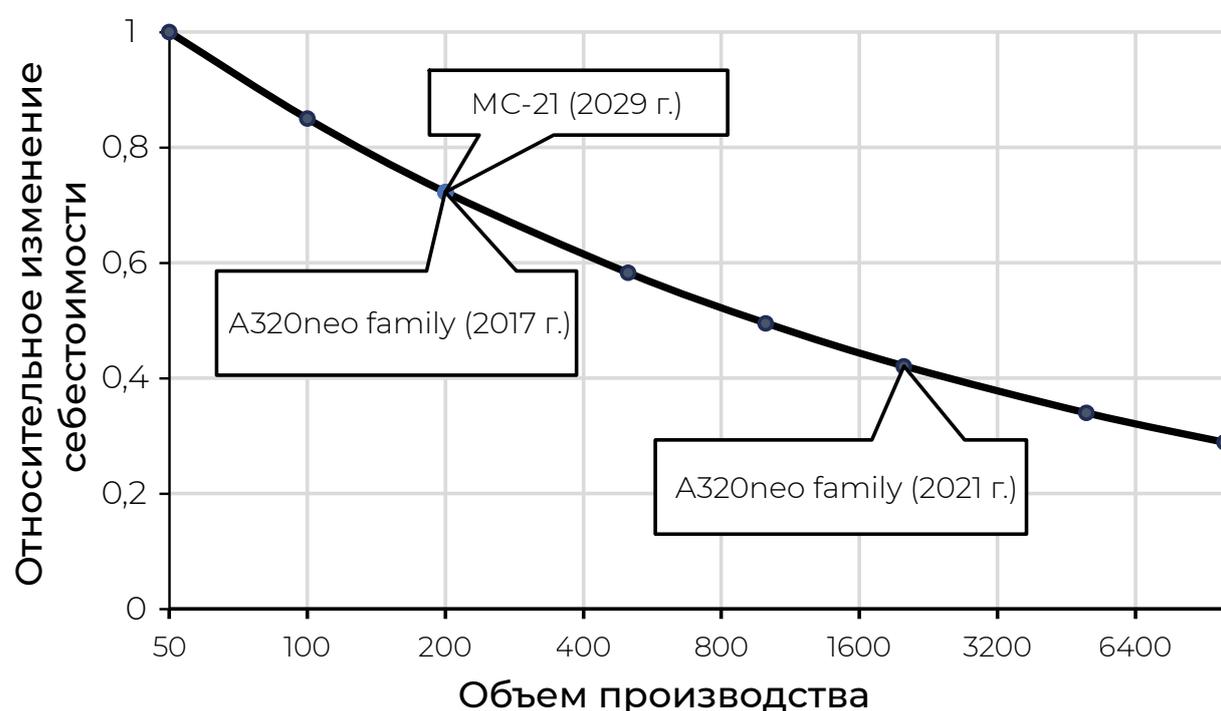


Рисунок 12 – Относительное сокращение средней себестоимости производства среднемагистральных самолетов с ростом серийности их выпуска (пример)

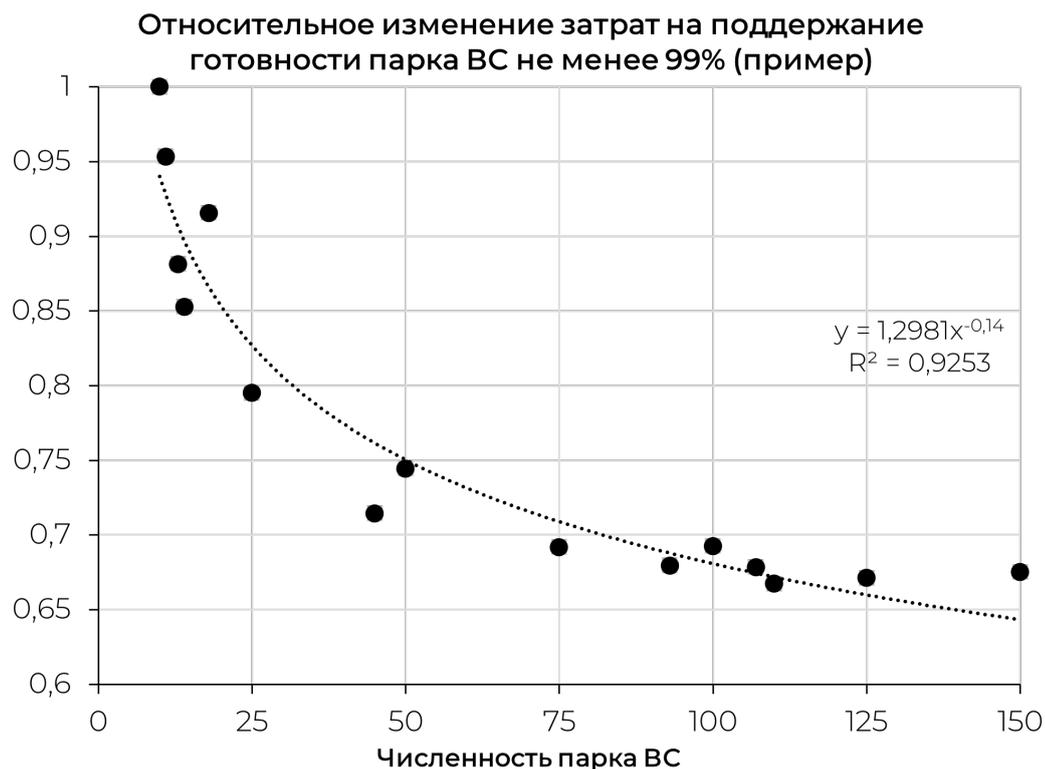


Рисунок 13 – Относительное сокращение средних (в расчете на одно ВС) затрат на поддержание готовности парка среднемагистральных самолётов класса А320 с ростом его численности (пример)

Данный фактор может быть частично нивелирован за счет оптимизации модельного ряда и унификации типажа АТ. Объективно меньшие, по сравнению с зарубежными аналогами, значения серийности выпуска АТ и численности парков АТ в России, особенно в условиях вынужденного обособления российской авиации и авиастроения, приводят к необходимости рационального сокращения разнообразия образцов АТ, их глубокой унификации по используемым компонентам и технологиям. Формирование рационального типажа перспективных образцов АТ, для которых создаются комплексы новых технологий, в российском авиастроении должно быть результатом компромисса между эффективностью применения различных образцов АТ в АТС и себестоимостью их разработки, производства, технического обслуживания и ремонта (далее – ТОиР) в эксплуатации. Малые масштабы российской гражданской авиации и авиационной промышленности, а также технологическое отставание от зарубежных конкурентов, сложившееся в кризисный период, определяют неизбежно худшие уровни технологического совершенства российской АТ по сравнению с мировыми лидерами. Необходимо рационально выбрать приоритетные направления улучшения технических характеристик, соответствующие достижению национальных целей РФ.

В сложившихся условиях основная миссия российского авиастроения состоит в создании такой гражданской АТ и ее

послепродажном обслуживании, чтобы успешно решать, прежде всего, задачи российской гражданской авиации, а соображения экспорта продукции отечественного авиастроения с целью получения экспортных доходов второстепенны (тем более что в рамках текущего технологического уклада такие амбициозные «рыночные» цели и недостижимы по объективным технико-экономическим причинам). Поэтому в числе генеральных целей технологического развития российского авиастроения отсутствуют стереотипные для аналогичных стратегий категории «конкурентоспособности на мировом рынке» и т. п. В то же время, если российской авиации и авиастроению благодаря созданию новых технологий и продукции удастся успешно решить значимые проблемы нашей страны, эти решения и соответствующая инновационная продукция имеют значительный потенциал применения и реализации во многих других странах мира, в т.ч. испытывающих те же или схожие проблемы. Немногочисленные примеры экспортных успехов продукции отечественного машиностроения (от вертолета Ка-26 и самолета Як-40 до легкового автомобиля ВАЗ-2121 «Нива») подтверждают эту объективную закономерность.

Сложившиеся условия развития российской авиации и авиастроения, с одной стороны, создают объективные трудности, но с другой – должны ориентировать обе отрасли на удовлетворение национальных интересов, достижение технологического суверенитета, в т.ч. в части целеполагания, требований, стандартов и норм. Объективно, более высокие по сравнению с глобальными конкурентами уровни стоимости производства и эксплуатации АТ в России делают необходимым развитие всей авиационной сферы при государственной поддержке и в соответствии с единой государственной политикой. Поэтому необходимо рациональное централизованное планирование развития (в т.ч. технологического) российской гражданской, государственной авиации и авиастроения.

В дальнейшем российское авиастроение будет ориентировано на обеспечение гражданской авиации Российской Федерации перспективными типами АТ, включая высокоэффективные магистральные самолеты (в т.ч. малой вместимости, для обеспечения приемлемой частоты прямых рейсов между отдаленными регионами страны в рамках рациональной транспортной системы), региональные ВС и ВС местных воздушных линий (включая как самолеты с расширенными условиями базирования, так и винтокрылые летательные аппараты), беспилотные воздушные суда. Также может возникнуть сегмент сверхзвуковых гражданских самолетов с приемлемым уровнем звукового удара, воздействия на окружающую среду и топливной экономичности.

Требования среднесрочной перспективы к гражданской авиации и авиационной технике в России



Авиастроение, гражданская и государственная авиация играют существенную роль в достижении национальных целей развития Российской Федерации, в сфере социально-экономического и научно-технологического развития, обеспечения национальной безопасности и обороны, что отражено в документах государственного стратегического планирования.

Российская гражданская авиация выполняет критически важную функцию в транспортной системе страны, а также обеспечивает выполнение авиационных работ в интересах отраслей экономики и органов государственного управления. Согласно Прогнозу социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2036 г. ожидается рост пассажирооборота авиационных перевозок к 2036 г. на 127 % по сравнению с 2018 г. Коммерческий воздушный грузооборот за аналогичный период вырастет на 104 %. При этом в соответствии с Единым планом по достижению национальных целей развития Российской Федерации до 2030 года и на перспективу до 2036 года задается целевой средний показатель авиационной подвижности населения на воздушном транспорте к 2030 году с учетом замещения самолётов иностранного производства отечественными, – 1,08 полетов на одного человека в год. Это позволит приблизиться к наиболее развитым зарубежным странам по уровню авиационной подвижности (см. рисунок 14) притом, что географические особенности России диктуют необходимость, по крайней мере, не меньшей обеспеченности авиатранспортными услугами для обеспечения качества жизни населения страны, ее социально-экономического и территориального развития. Здесь и далее приведены результаты, полученные Центром в ряде работ, посвященных анализу возможностей выполнения заявленных требований.



Рисунок 14 – Сравнение уровней авиационной подвижности населения ведущих зарубежных стран и России (нынешний и планируемый уровни)

Поскольку авиационную подвижность страны определяют, в основном, потоки на магистральных авиалиниях, рассмотрим магистральный сегмент авиатранспортной системы. Оценки, полученные с помощью структурной (учитывающей расслоение населения по доходам) оптимизационной модели спроса на магистральные авиаперевозки (с учетом конкуренции с наземным транспортом, а также возможности многократного совершения поездок в течение года наиболее обеспеченными доходными группами) показывают, что на 2024 г. только 30% населения могут позволить себе дальние поездки на авиационном транспорте, при этом только 20% населения могут позволить себе более одной туристической поездки в год.

При моделировании эффекта снижения тарифов на авиаперевозки рассматривались различные сценарии средней кратности (N) поездок в год для наиболее обеспеченных групп населения для N=3,3; 4; 5. В данных предположениях получены прогнозируемые коридоры изменения коэффициента авиационной подвижности, а также диапазоны тарифов, при которых они достигаются. В соответствии с расчетами для достижения целевых показателей подвижности необходимо существенное снижение тарифов на перелеты (см. рисунок 15). При условии сокращения средней цены на 52% авиаперевозки будут доступны 70% населения, при этом подвижность населения изменится с 0,72 полета на человека в год в долгосрочной перспективе до целевого уровня, заданного ранее Транспортной стратегией, – 1,8 или выше.

По результатам расчётов Центра, целевое сокращение среднего относительного тарифа (по отношению к уровню доходов населения) в расчете на пкм на магистральных авиалиниях к 2036 году должно составить около 50%. Причем, данная оценка получена с учетом прогнозируемого роста реальных доходов граждан России. При этом вне зависимости от изменения тарифов и технологий группы населения с низким уровнем доходов по-прежнему не смогут позволить себе дальние поездки в течение года. По этой причине авиационная подвижность населения не может быть увеличена кратно относительно текущего уровня без особых мероприятий для повышения реальных доходов граждан Российской Федерации, например, в виде целевых дотаций на поездки или увеличения количества высокопроизводительных рабочих мест.

Помимо объемных показателей авиаперевозок задаются и целевые значения показателей качества транспортного обслуживания. Целевой показатель времени в пути между всеми городами Российской Федерации с населением более 100 тыс. чел. к 2035 г. составляет не более 12 часов и определяет требования к магистральным и региональным авиаперевозкам. Также на стимулирование развития прямых межрегиональных авиационных маршрутов направлен показатель доли межрегиональных пассажирских авиационных

рейсов, минующих Московский авиационный узел, в общем количестве внутренних регулярных рейсов, который к 2030 г. планируется на уровне 53%, а к 2035 г. – 54%. Такой темп изменения структуры маршрутной сети явно недостаточен. Важнейшим показателем с точки зрения обеспечения транспортной доступности регионов, где необходим воздушный транспорт, является время в пути до муниципального центра, которое к 2030 г. и к 2035 г. должно составлять не более 2,5 и 2 часов соответственно.

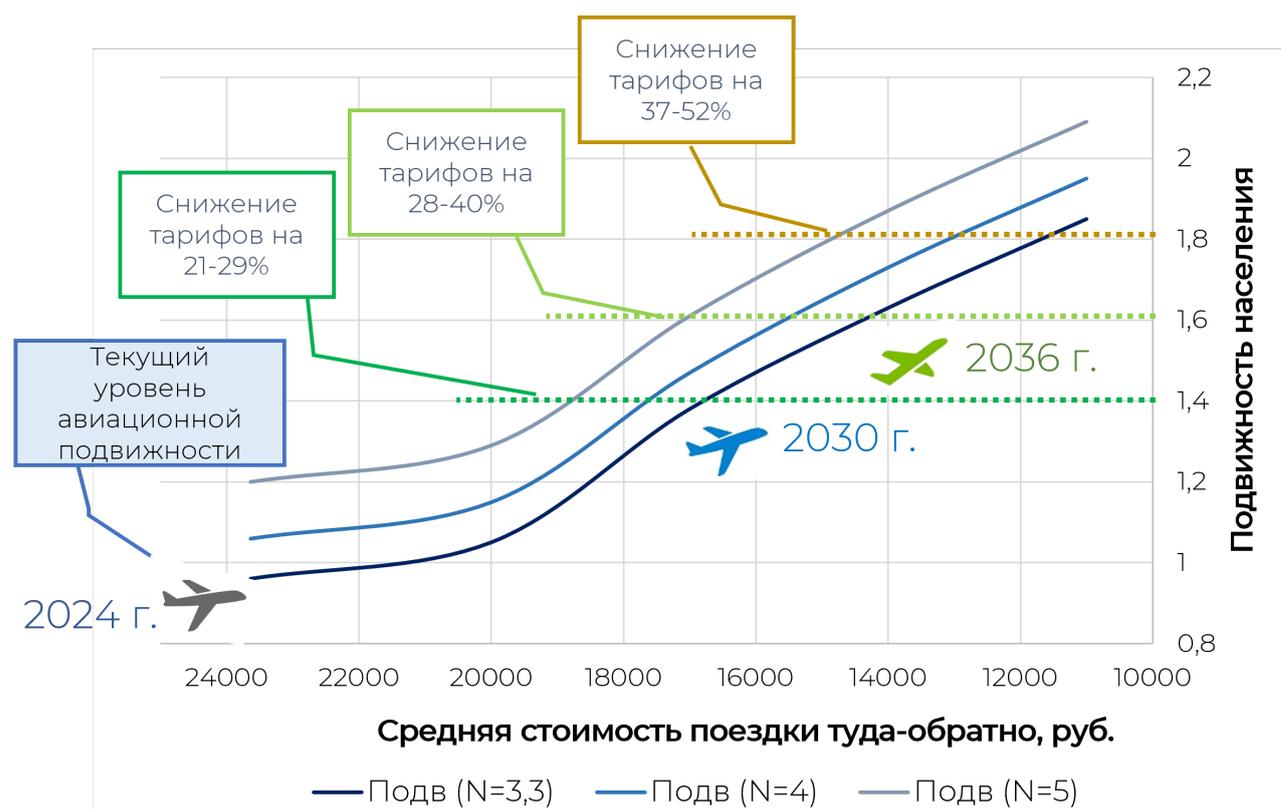


Рисунок 15 – Зависимость подвижности населения от средней цены на поездку при различных значениях параметра N – кратности совершения поездок наиболее обеспеченными доходными группами в течение года

Результаты расчетов транспортной связанности страны (измеряемой полным временем в пути) на уровне центров регионов Российской Федерации показывают, что при регулярности полетов на уровне 2019 г. и применении в парке существующих отечественных ВС, средневзвешенная оценка показателя транспортной связанности составляет ~13 часов, а максиминная ~70 часов.

Повышение транспортной подвижности населения и рост потоков на межрегиональных направлениях, где наземный транспорт не позволяет обеспечить требуемое время в пути, могут быть достигнуты путем открытия дополнительных межрегиональных авиалиний. Требования по сокращению времени в пути внутри регионов могут быть выполнены, в значительной степени, за счет развития местных

воздушных линий. При этом с учетом социально-экономической ситуации во многих регионах России поддержание перспективной сети региональных и местных авиалиний невозможно исключительно на рыночной основе даже при существенном повышении экономической эффективности перспективных ВС и потребует масштабной государственной финансовой поддержки, многократно превышающей нынешний уровень.

Выполнение в авиатранспортной системе России ограничения «24 часа» возможно при условии оптимизации структуры маршрутной сети, организации мультихабовой системы с высокой частотой связей между хабами. Радикальных изменений типажа ВС не потребуется, хотя средняя прогнозируемая доля заполняемости салона ряда типов ВС будет существенно ниже текущей, из-за чего авиакомпании могут терпеть убытки. Увеличится рациональная доля в парке ВС меньших вместимостей.

При ужесточении ограничения от «24 часов» до «12 часов» потребуется организация около 2500 новых авиалиний, примерно треть из которых придется на диапазоны дальностей 500-1500 км. Это обстоятельство диктует необходимость реструктуризации парка АТ, пополнения парка самолётами малой авиации, что требует больших инвестиций и субсидий. Кроме того, выполнение такого ограничения для связи между удаленными федеральными округами требует наличия прямых маршрутов, без пересадок в хабах. Однако их организация целесообразна не для всех пар центров регионов России, с учетом малых потоков между многими из них. С учётом географических особенностей распределения плотности населения в России реализация столь жестких требований к качеству авиатранспортного обслуживания будет обеспечена не для 100% населения.

Помимо связанности территорий на уровне регионов, качество транспортных услуг особенно актуально для местных воздушных линий (далее – МВЛ), где из-за малых пассажиро- и грузопотоков существующая АТС Российской Федерации характеризуется низкой частотой рейсов (часто порядка одного рейса в неделю даже на субсидируемых маршрутах). Поэтому в первую очередь определялись изменения показателей качества перевозок на МВЛ при внедрении перспективных самолетов «малой авиации». Для данного сегмента воздушных перевозок проводилась субоптимизация структуры АТС, в т.ч. сети авиалиний и аэропортовой сети. Учитывается, что на многих местных (внутрирегиональных) авиалиниях в настоящее время перевозки выполняются на ВС регионального класса (региональных самолетах, далее – РС), пассажироместимостью 40-60 мест. Однако по мере ужесточения требований к качеству авиатранспортного обслуживания, рациональная доля РС сокращается, и требуется больше легких ВС МВЛ, пассажироместимостью до 9 и 19 мест (см. рисунок 16).

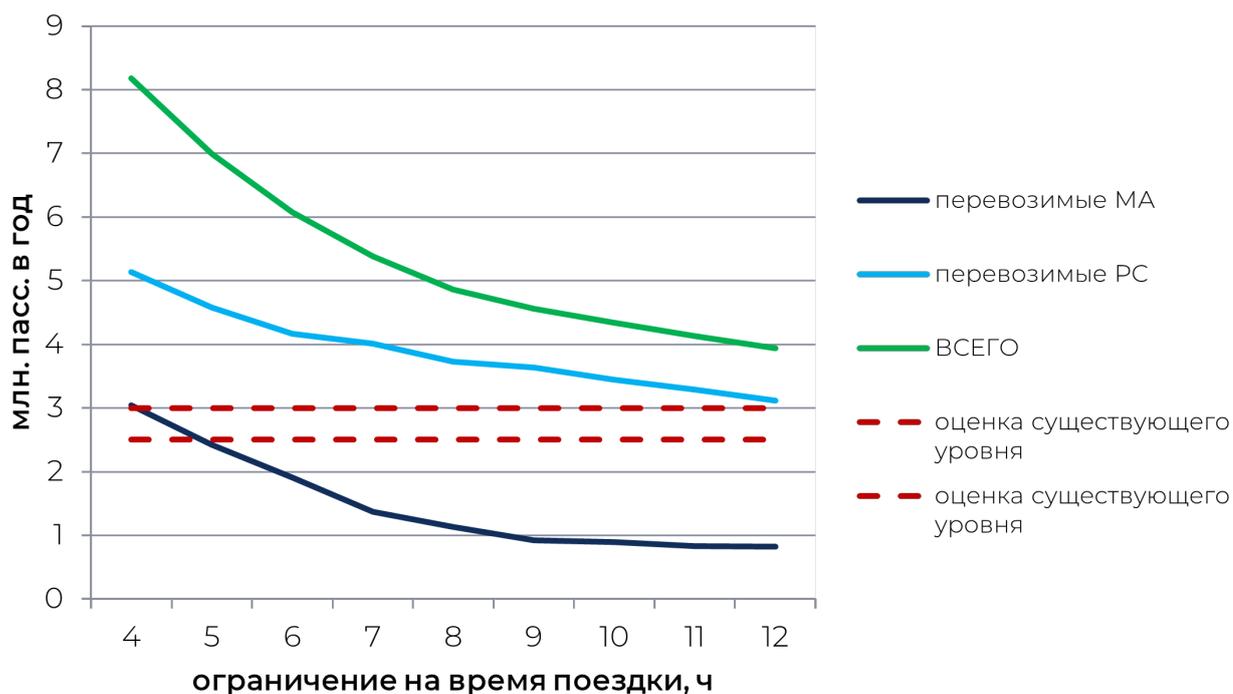


Рисунок 16 – Распределение годовых объемов авиаперевозок на МВЛ между ВС вместимостью 9-19 мест и ВС вместимостью 40-50 мест (региональными) в зависимости от ограничений на общее время поездки

Расчеты показывают, что в зависимости от значений вводимого транспортного стандарта (минимальной частоты рейсов и минимального суммарного времени поездки между столицами регионов и их периферийными территориями, задававшихся в пределах 1-2 рейса/сутки и 4-12 часов, соответственно) затраты на выполнение воздушных перевозок составят 35-70 млрд. руб. в год. С увеличением доли легких самолетов в парке при ужесточении ограничения на суммарное минимальное время поездки общий потребный парк ВС МВЛ составит 150-300 ВС.

Достижение целевых показателей транспортного обслуживания местных и региональных авиалиний невозможно обеспечить имеющимся парком воздушных судов гражданской авиации России, который отличается наибольшим устареванием (как моральным, так и физическим) именно в региональном и местном сегментах, где средний возраст воздушных судов составляет около 30 лет, причем парк некоторых типов – Ан-24/26, Ан-2 имеет средний возраст более 40 лет. Для решения поставленных задач потребуется современный парк воздушных судов, который будет иметь иную структуру и состав. Поэтому необходима разработка новых технологий для создания ВС региональных и местных воздушных линий, обладающих улучшенными технико-экономическими, летно-техническими и эксплуатационно-техническими характеристиками. Однако, учитывая значительную длительность разработки и внедрения

авиационных технологий, большинство из них, разработка которых началась в период 2020-х гг., могут быть внедрены уже после 2035 г., а до этого не успеют внести значительного вклада в изменение облика и показателей авиатранспортной системы страны. Поэтому при планировании научных исследований и разработок в области развития технологий авиастроения, а также при формировании требований к характеристикам перспективной авиационной техники на основе представленных целевых показателей развития воздушного транспорта определены (с учетом прогнозов развития экономики Российской Федерации и динамики показателей рынка авиаперевозок) целевые значения характеристик АТ и показателей развития технологий к более реалистичному, среднесрочному горизонту 2030-2035 гг.

На рисунке 17 наглядно систематизированы генеральные цели развития авиации и авиастроения, а также целевые показатели их достижения в среднесрочной перспективе.

Генеральные цели развития технологий в части гражданского авиастроения и показатели их достижения	
 Повышение комплексной безопасности авиационной деятельности	· Снижение аварийности: <1 авиационного происшествия на 1 млн рейсов
 Обеспечение технологического суверенитета Российской Федерации	· Доля самолетов отечественного производства к 2030 году – 81,3%
 Сокращение стоимости авиационных работ и услуг (повышение доступности)	· Авиационная подвижность 1,4 к 2030 г. и 1,6 к 2035 г. (полета на человека в год), для жителей удаленных и труднодоступных районов – 1,12 к 2030 г. и 1,36 к 2035 г.
 Обеспечение приемлемых себестоимости и длительности разработки, производства, обслуживания авиационной техники	· Ежегодное снижение цены воздушных судов в течение 5 лет на 2% · Ежегодное сокращение стоимости поддержания летной годности ВС на 5-9%
 Повышение качества авиационных работ и услуг	· Время в пути между всеми городами РФ с населением >100 тыс. чел. к 2035 г. – не более 12 ч., до муниципального центра не более 2,5 ч. к 2030 г. и не более 2 ч. к 2035 г.
 Снижение вредного воздействия на окружающую среду	· Охрана окружающей среды в Арктике · Изменение структуры перевозок в пользу менее углеродоёмких видов транспорта

Рисунок 17 – Цели развития технологий гражданского авиастроения в России и целевые показатели их достижения в кратко- и среднесрочной перспективах

Перспективы развития сектора авиационных работ

Помимо авиаперевозок, гражданская авиация выполняет авиационные работы в интересах отраслей экономики. Согласно Федеральным авиационным правилам, выделяют следующие виды авиационных работ:

- авиационно-химические работы;
- воздушные съемки;
- лесоавиационные работы;
- строительно-монтажные и погрузочно-разгрузочные работы;

- работы с целью оказания медицинской помощи;
- летные проверки наземных средств радиотехнического обеспечения полетов, авиационной электросвязи и систем светосигнального оборудования аэродромов гражданской авиации и т.д.

При появлении новых авиационных технологий выполнение авиационных работ будет более эффективным при одновременной адаптации отраслей к тем возможностям, которые эти технологии предоставят. Ключевым принципом целеполагания при прогнозировании и планировании применения новых авиационных технологий является поиск глобального оптимума в системе, включающей в себя как авиационные компоненты, так и отрасли-потребители авиационных работ, так называемые «интегрированные авиационные системы» (далее – ИАС). Благодаря такому подходу появляется возможность снижения суммарных затрат на решение целевых задач в отрасли, в т.ч. при возможном увеличении объемов авиационных работ и затрат на их выполнение (см. рисунок 18).

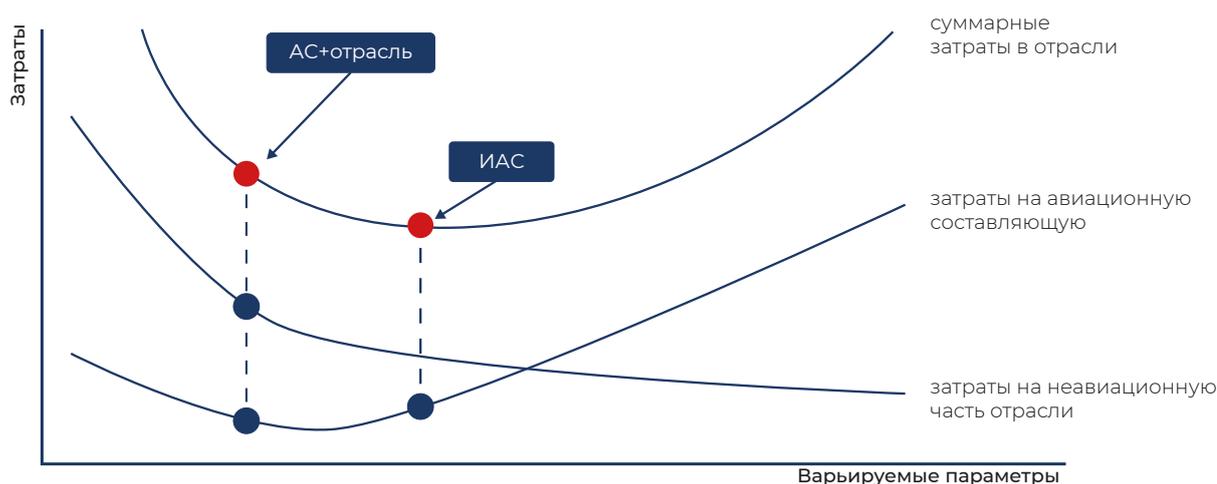


Рисунок 18 – Моделирование развития отрасли-потребителя авиационных услуг с учетом методологии ИАС

Практически важной задачей в российских условиях является построение эффективной ИАС мониторинга и тушения лесных пожаров. На этапе планирования ее развития необходима оптимизация структуры соответствующей авиационной службы лесного хозяйства по борьбе с лесными пожарами. Моделирование применения авиационной системы, предназначенной для борьбы с лесными пожарами (т.е. оценка минимально достижимых затрат при заданных уровнях выбросов CO_2 от лесных пожаров), показывает, что при стремлении сократить уровень выбросов ниже 1 млн. т в год экономически наиболее эффективным решением становится применение рассредоточенного парка легких вертолетов-танкеров (грузоподъемностью в пределах 1 т, т.е. класса вертолета Ансат). При более свободных ограничениях на объем сгоревшего леса

оптимальными становятся традиционно применяемые тяжелые самолеты-танкеры грузоподъемностью 20-40 т (см. рисунок 19).

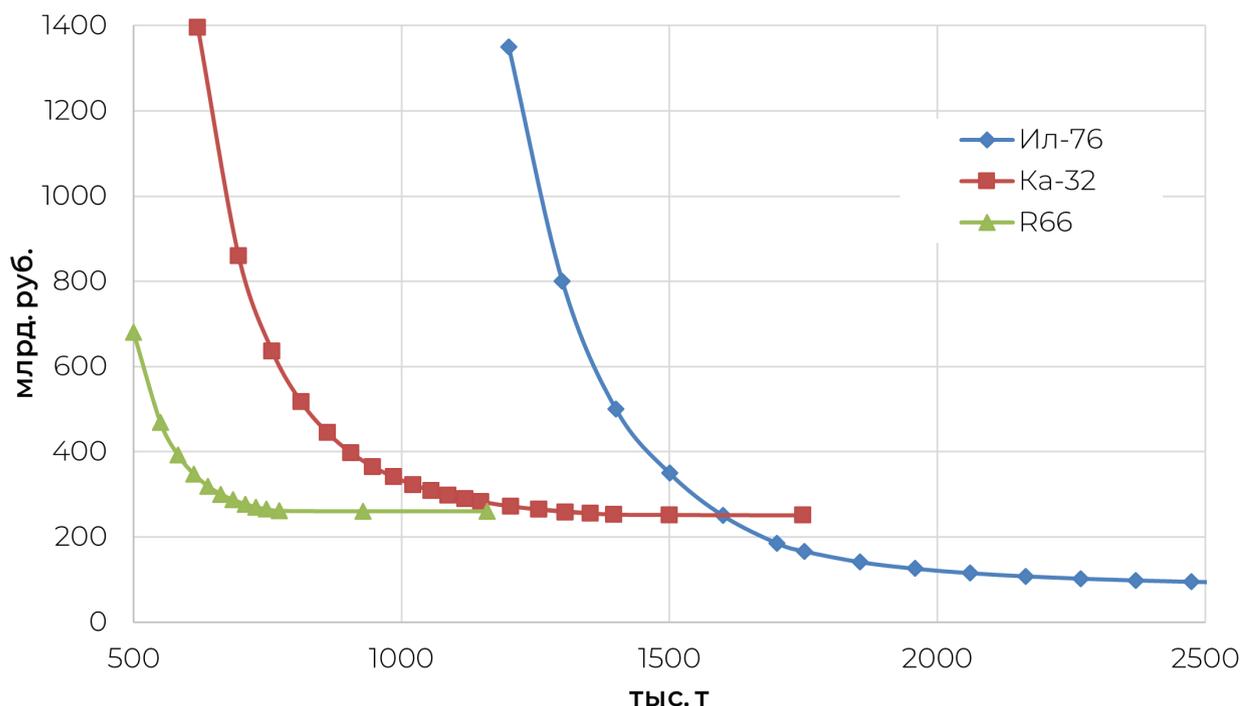


Рисунок 19 – Зависимость затрат на организацию парка авиатанкеров для борьбы с лесными пожарами от допустимого уровня выбросов CO₂ от сгоревшего леса

Мониторинг пожарной обстановки в рассматриваемой постановке задачи выполняется малыми беспилотными летательными аппаратами (далее – БПЛА) с минимально возможной стоимостью эксплуатации: кривые рисунка 19 получены при фиксированном рационально выбранном парке БПЛА. В то же время, поскольку задачей данной службы является сбережение лесов, в качестве оптимизируемой функции может быть выбрана сумма затрат на авиационные работы и потерь (стоимости сгоревшего леса). Как видно на рисунке 20, эта функция имеет выраженный оптимум для каждого варианта парка ВС для тушения, и в случае такого критерия оптимальный выбор парка специализированных ВС – легкие беспилотные вертолеты-танкеры, способные приступать к тушению через несколько минут после обнаружения очага возгорания.

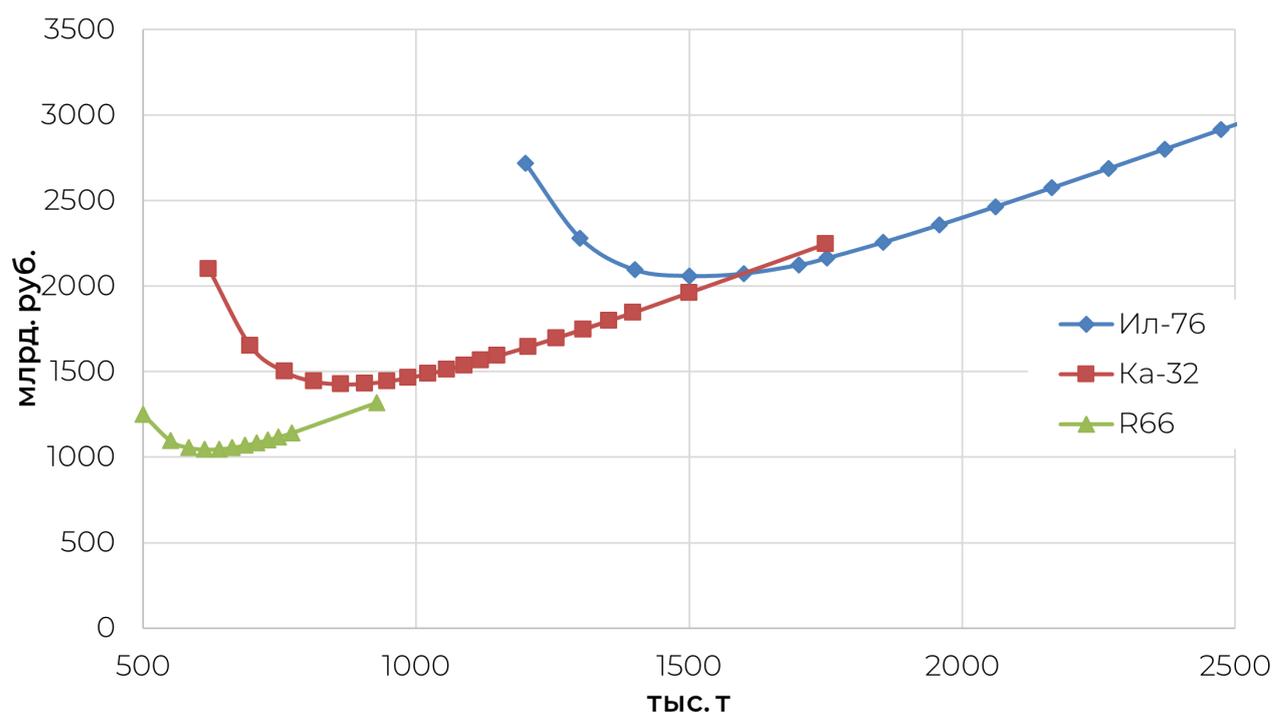


Рисунок 20 – Функция полных затрат и потерь ИАС мониторинга и тушения лесных пожаров

Таким образом, рациональные требования к характеристикам ВС для тушения лесных пожаров состоят в том, что это должны быть вертикально взлетающие (для обеспечения рассредоточенного базирования на территории земель лесного фонда) ВС относительно малой грузоподъемности. Они должны быть по возможности беспилотными – для обеспечения автоматического применения с малым (порядка нескольких минут) временем реагирования при круглосуточном дежурстве в рассредоточенном режиме. В то же время, мониторинг пожарной обстановки должен выполняться малыми БПЛА с минимально возможной стоимостью эксплуатации.

Областью перспективного применения авиационных технологий, в т.ч. использования беспилотных авиационных систем (далее – БАС), является сфера обеспечения правопорядка. Актуальная задача – патрулирование территорий для выявления правонарушений и оперативное реагирование с целью их устранения. В данном случае необходим оптимальный выбор парка ВС и их характеристик в составе единой ИАС охраны правопорядка, выполняющей указанные задачи комплексно при минимальных затратах государства. В состав парка ВС обеспечения общественной безопасности входят малые патрульные БПЛА и пилотируемые ВС, принадлежащие группам оперативного реагирования (результаты оптимизации приведены на рисунке 21). Уровень безопасности на графике есть вероятность поимки правонарушителей.

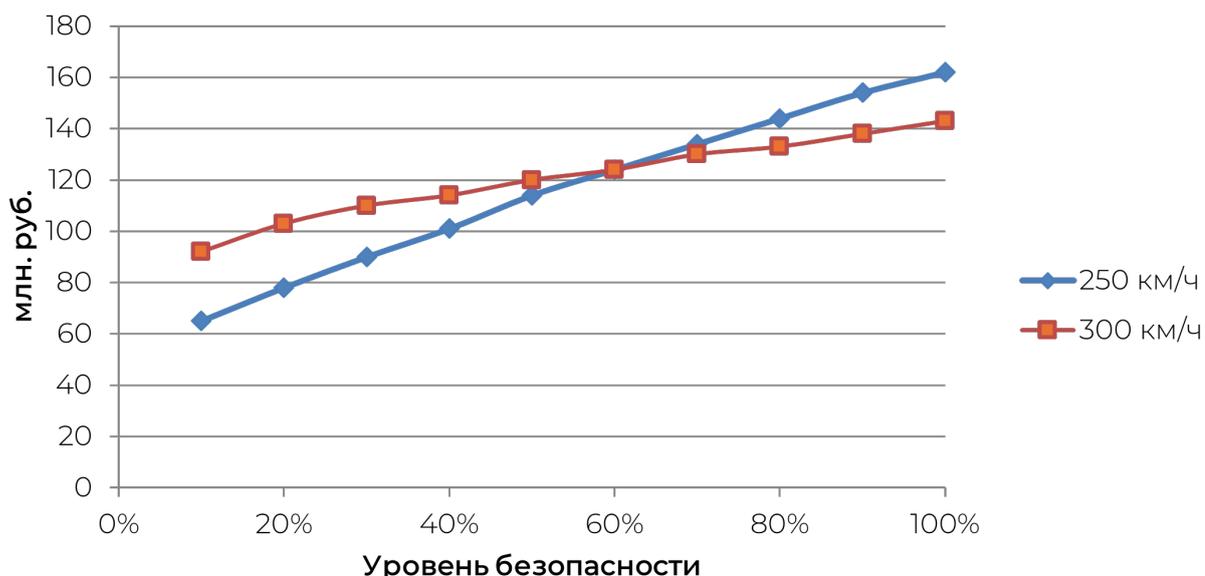


Рисунок 21 – Затраты ИАС обеспечения общественной безопасности (охраны правопорядка) в зависимости от уровня безопасности при различной крейсерской скорости пилотируемых ВС групп оперативного реагирования

Как показали расчеты, совместная оптимизация парков патрульной авиации и авиации быстрого реагирования в рамках ИАС обеспечения общественного правопорядка может обеспечить (на примере города Москвы) сокращение затрат на десятки процентов при повышении достижимого уровня безопасности. При этом основным требованием к патрульным БПЛА является минимально возможная стоимость их эксплуатации, в то время как для винтокрылых летательных аппаратов (далее – ВКЛА) подобное требование необязательно, поскольку ключевым требованием становится обеспечение максимально возможной средней (с учетом взлета и посадки) скорости полета как скорости реагирования.

Чрезвычайно актуальной комплексной проблемой повышения качества жизни, безопасности жизнедеятельности в ОТДМР России является организация в этих регионах медицинской помощи, в т.ч. экстренной и высокотехнологичной. Малая плотность населения и значительные расстояния затрудняют решение этих задач и приводят к сверхнормативным затратам на создание и содержание медицинских учреждений, а также к проблемам отсутствия эффективной загрузки высококвалифицированных профильных специалистов. Именно санитарная авиация позволяет обеспечить оперативность оказания медицинской помощи и приемлемую эффективность функционирования сети медицинских учреждений в условиях малой плотности населения в ОТДМР.

В то же время для реализации этих благоприятных возможностей необходима комплексная оптимизация всей ИАС санитарной авиации: определяется оптимальное размещение медицинских учреждений и вертолетных посадочных площадок для повышения качества медицинского обслуживания при минимальных затратах с учетом возможностей современной или перспективной АТ (см. рисунок 22).

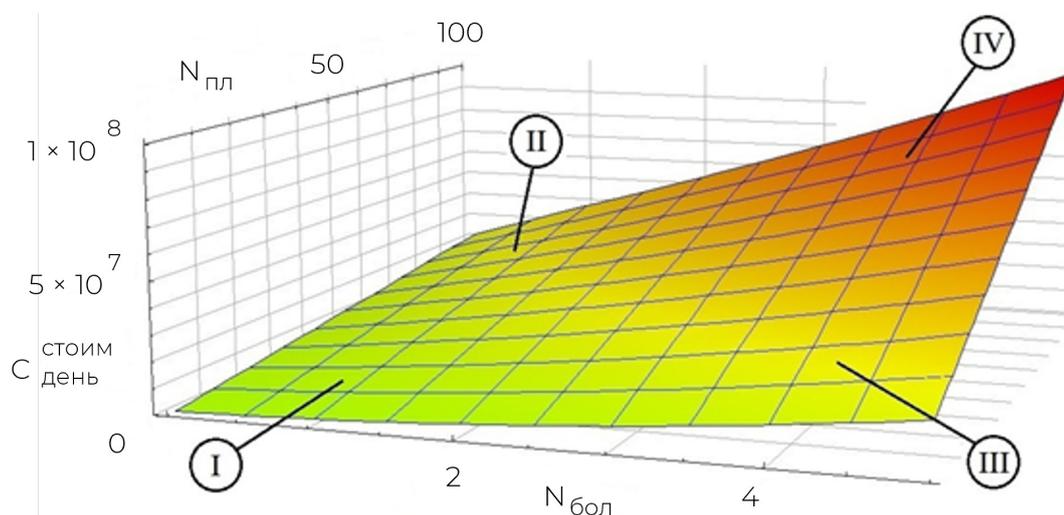


Рисунок 22 – Пример функции затрат ИАС санитарной авиации:

- I – «мало больниц, мало вертолетных площадок»
- II – «мало больниц, много вертолетных площадок»
- III – «много больниц, мало вертолетных площадок»
- IV – «много больниц, много вертолетных площадок»

На рисунке горизонтальные оси соответствуют количеству больниц $N_{бол}$ и вертолетных посадочных площадок $N_{пл}$, предназначенных для дежурства санитарных вертолетов, а вертикальная ось – это суммарные затраты на организацию больниц и оплату услуг авиации.

Как показали расчеты, совместная оптимизация системы санитарной авиации и территориального размещения высокотехнологичных медицинских центров с учетом возможностей санитарной авиации может обеспечить сокращение затрат до 30-50% в условиях протяженных и малонаселенных регионов (республика Саха-Якутия, 3083,5 тыс. кв. км, ~1 млн. чел.) (см. рисунок 23). При этом в компактных и густонаселенных регионах (Приморский край, 164,7 тыс. кв. км, ~2 млн. чел.) соответствующий эффект гораздо слабее: лишь около 5%.

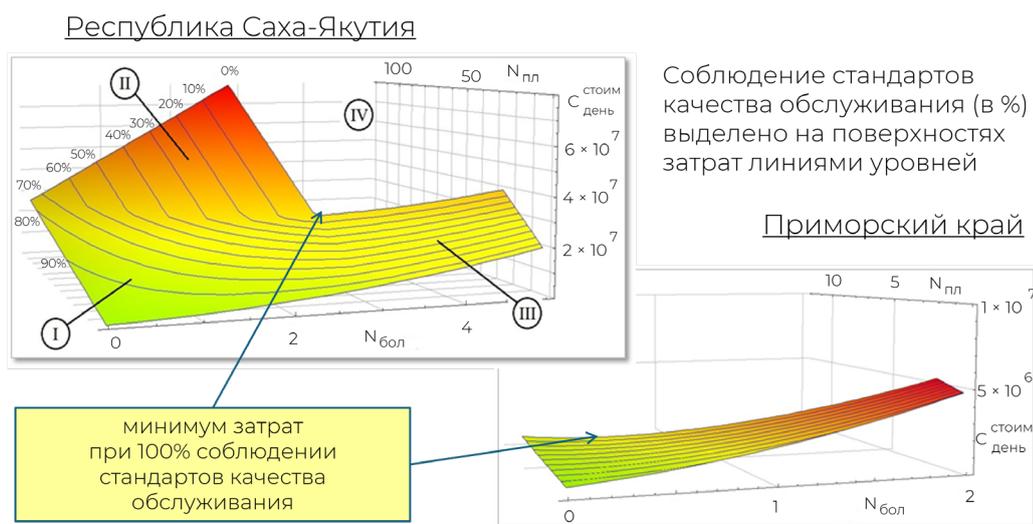


Рисунок 23 – ИАС санитарной авиации для различных регионов Российской Федерации

Важной сферой применения БАС для обеспечения освоения и контроля пространства является патрулирование территорий, акваторий, магистралей и границ. Практически значимый пример – задача патрулирования трасс магистральных газопроводов газотранспортной системы России протяженностью свыше 150 тыс. км. Проведен анализ экономической эффективности применения БАС вместо пилотируемых вертолетов для патрулирования указанных трубопроводов. Причем, некорректно просто оценить экономию от прямой замены вертолетов на БАС при неизменном объеме авиационных работ. Необходима глобальная оптимизация количества ВС и интенсивности патрульных полетов в рамках системы «парк БПЛА – наземная инфраструктура – трубопроводный транспорт». Полученные зависимости различных составляющих затрат и потерь от интенсивности полетов при патрулировании трассы с помощью вертолетов и БПЛА приведены на рисунке 24.

Оценки показывают, что полное и рациональное использование новых возможностей, предоставляемых БАС, позволяет сократить суммарные затраты и потери не менее чем на 30-40%, причем, сокращается не только стоимость воздушного патрулирования, но и, что важнее, снижается ожидаемый ущерб от аварий по сравнению с организацией патрулирования вертолетами Ми-8 (из-за существенной разницы в потерях из-за аварий на трубопроводах). Благодаря БАС удешевление патрулирования позволяет повысить его интенсивность, и, тем самым, снизить общую сумму затрат и потерь. Таким образом, применение перспективных средств воздушного патрулирования способно принести существенную экономию не столько за счет удешевления патрульных полетов, сколько за счет сокращения ожидаемого ущерба благодаря более раннему обнаружению нештатных ситуаций,

которое достигается при некотором увеличении интенсивности патрулирования.

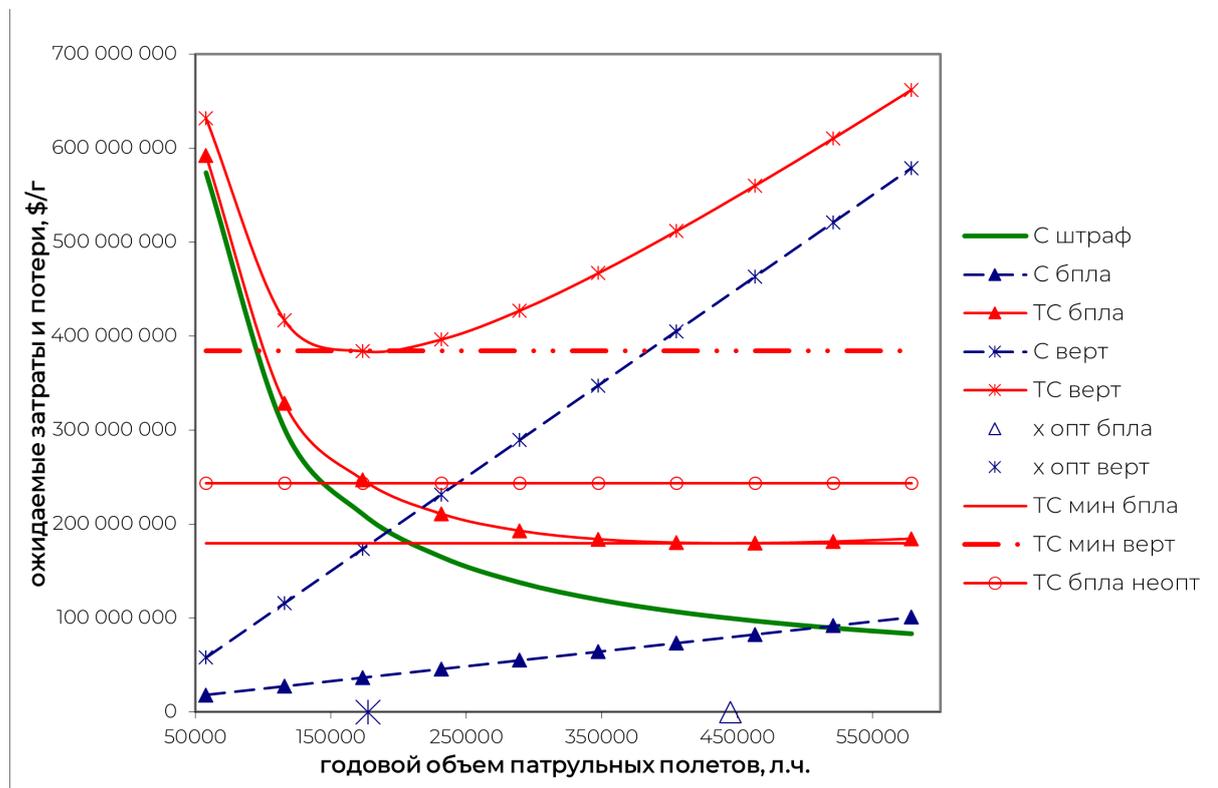


Рисунок 24 – Ожидаемые затраты и потери в зависимости от объема патрульных полетов на сети магистральных газопроводов России

Таким образом, эффективное развитие сектора авиационных работ требует создания БАС, в т.ч. на основе лёгких ВКЛА с высокой надёжностью и низким уровнем эксплуатационных затрат.

Требования долгосрочной перспективы к гражданской авиации и авиационной технике в России



Развитие транспортных технологий в направлениях повышения скорости перевозок и сокращения их стоимости позволяет «сжимать» пространство, делая все более отдаленные локации и регионы относительно доступными и близкими с точки зрения быстроты и доступности перемещения. В долгосрочной перспективе целесообразно рассматривать «идеальный» воздушный транспорт для России, который позволит сделать доступными для подавляющего большинства населения страны:

- регулярные дальние скоростные поездки (с дозвуковыми крейсерскими скоростями) между любыми регионами страны, т.е. на расстояния порядка нескольких тысяч километров;

- полеты в местном сообщении (в т.ч. в городских и пригородных агломерациях) в радиусе нескольких сотен километров без привязки к дорожной инфраструктуре).

Само по себе создание такого «идеального транспорта» представляет собой масштабный технологический вызов, преодоление которого в любом случае потребует значительных затрат. Но, прежде чем ставить задачи преодоления данного вызова, необходимо объективно оценить возможные выгоды от появления таких гипотетических «идеальных» транспортных возможностей. Прежде всего, в условиях России они могли бы способствовать расширению пространства, доступного для активного экономического освоения (в целях расселения, рекреации и размещения производительных сил). Пока оно в России очень сжато и ограничено несмотря на то, что территория страны является крупнейшей в мире по площади и протяженности. При этом наблюдается высокая, даже по мировым меркам, концентрация населения в городских агломерациях, особенно в крупнейших, высокая стоимость земли и площади жилья, нежилых помещений, особенно по мере приближения к центрам крупнейших агломераций (и, как следствие, – недостаточная обеспеченность населения жилой площадью и т.п. «пространственными» благами, несмотря на крупнейшую в мире территорию).

Во многом, это плата за отказ от длительного, дорогостоящего (иногда практически невозможного), порой некомфортного и даже небезопасного преодоления расстояний. Т.е. развитие транспорта призвано превратить крупнейшие в мире размеры территории России из экономического обременения в ключевое преимущество страны. Открываются возможности более равномерного расселения по регионам страны (дальнее сообщение) и внутри регионов (местное сообщение), что снимает противоречия пространственного развития. Также в долгосрочной перспективе появляются возможности оптимизации пространственной организации промышленности – перехода к сетевой структуре с глубокой специализацией производств, которые будут обмениваться потоками комплектующих изделий и полуфабрикатов благодаря относительно дешевой доставке малых партий (от нескольких десятков кг) с помощью грузовых БАС.

Оптимистические сценарии развития авиаперевозок в России в дальнем и в местном сообщении, предполагают изменение места гражданской авиации в единой транспортной системе России в долгосрочной перспективе, в т.ч. прогнозируется перераспределение сфер применения различных видов транспорта (воздушного транспорта, высокоскоростных магистралей, железнодорожного транспорта и автодорог) на основе оценки пороговых уровней пассажиро- и грузопотоков, при которых наземный транспорт выигрывает у воздушного по совокупным затратам и выбросам вредных веществ.

Внутри регионов России возможен переход к свободному расселению (с регулярными маятниковыми поездками) по территориям городских и пригородных агломераций с характерными размерами порядка 200-300 км, при использовании технологий

городской и пригородной авиационной мобильности (далее – ГАМ) (Urban Air Mobility, UAM). Однако ключевое условие реализации перспективной системы расселения в агломерациях – обеспечение массовой доступности перевозок в системе ГАМ – помимо качественных требований (маневренность и точность пилотирования, отсутствие шума и выбросов).

Выделяются следующие перспективные направления технологического развития ВС ГАМ:

- электрические и гибридные силовые установки, в т.ч. распределенные (и соответствующие компоновки ВС);

- высокоавтоматизированная интеллектуальная система управления движением и функционированием систем (чтобы управление ВС ГАМ, персональными или аэротакси, было доступно широким кругам населения);

- простые ремонтпригодные конструкции с применением полимерных композиционных материалов (далее – ПКМ) и технологии их автоматизированного массового производства (по аналогии с автомобильной промышленностью, возможно, эти отрасли будут интегрированы).

Помимо требований к самим ВС ГАМ, возникают новые требования к перспективной системе УВД:

- неухудшение безопасности полетов (в части УВД) при радикальном (на 3 порядка) повышении количества находящихся в воздухе ВС и плотности воздушного движения;

- переход от традиционных «точечных» аэропортов, посадочных площадок к «распределенному аэропорту».

Технологии общедоступных магистральных авиаперевозок в дальнем сообщении позволят реализовать более свободное расселение населения по регионам страны, избегая его гиперконцентрации в столичных субрегионах и Европейской части России. При этом авиационная подвижность и доступность магистральных авиаперевозок должны возрасти на порядок по сравнению с достигнутым уровнем, что позволит совершать до 10-12 поездок в год между любыми отдаленными регионами страны, нивелируя их удаленность (и стимулы для концентрации населения в столичных агломерациях).

Существенное повышение авиационной подвижности на магистральных авиалиниях нереализуемо в рамках текущего технологического уклада, с использованием ископаемого углеводородного топлива, и требуют перехода к новому укладу в энергетике.

Перспективные направления технологического развития магистральных самолетов в долгосрочной перспективе включают:

– переход на использование альтернативных видов топлива – дешевых и с малым углеродным следом (возможно, доступных биотоплив III рода; вероятнее – сжиженного водорода как носителя «зеленой» и доступной электроэнергии, но при условии общей трансформации ТЭК, его перехода к «водородной энергетике»);

– интеллектуальную автоматизацию управления движением ВС, функционированием их систем;

– интеллектуальную автоматизацию УВД и использование общих ресурсов АТС (включая парк ВС);

– интеллектуальные технологии управления состоянием и использованием объектов авиатранспортных систем (в т.ч. АТ, авиационного персонала и объектов инфраструктуры).

Указанные сценарии развития воздушного транспорта и систем расселения предполагают изменение места гражданской авиации в единой транспортной системе России в долгосрочной перспективе, но магистральные авиаперевозки и в долгосрочной перспективе останутся в Российской Федерации основным видом транспорта в дальнем сообщении, ключевым способом обеспечения транспортной связанности территории страны, в т.ч. связей между федеральными округами (особенно между Европейской частью России, Сибирским и Дальневосточным федеральными округами).

В дальнем сообщении на расстояниях свыше 3000 км авиация остается единственно приемлемым видом транспорта по соображениям комфорта. Согласно оценкам специалистов Центра, по экономическим и экологическим критериям обычная железнодорожная линия выигрывает у авиалинии при пассажиропотоке свыше 2-4 тыс. пасс/сутки; ВСМ – свыше 30-80 тыс. пасс/сутки. Расчеты показывают, что при свободном расселении по регионам России и достижении практически неограниченной доступности магистральных авиаперевозок интенсивность полетов между удаленными (на 3 тыс. км и более) регионами останется в пределах предпочтительности воздушного транспорта перед наземным, в т.ч. железнодорожным.

Также в рамках формирования «идеального» образа будущего авиации были получены оценки минимальной продолжительности полета на заданные расстояния с учетом ограничений на ускорения (по соображениям комфорта пассажиров и сохранности грузов) и на скорости полета на различных высотах (по соображениям ограничения интенсивности звукового удара), что позволило сформировать ультимативные, «идеальные» требования к летно-техническим характеристикам высокоскоростных гражданских ВС, в т.ч. к скоростям полета, потолку и скороподъемности. Обосновано, что даже при полете на максимально возможную дальность на Земле (21000 км) нецелесообразно стремиться к достижению максимальных скоростей полета, превышающих 4-6 М, поскольку при

дальнейшем повышении скорости не будет достигнуто значительного сокращения продолжительности полета, притом, что большая его часть будет проходить в режиме разгона или торможения с максимально приемлемыми ускорениями, что наглядно показано на рисунке 25.

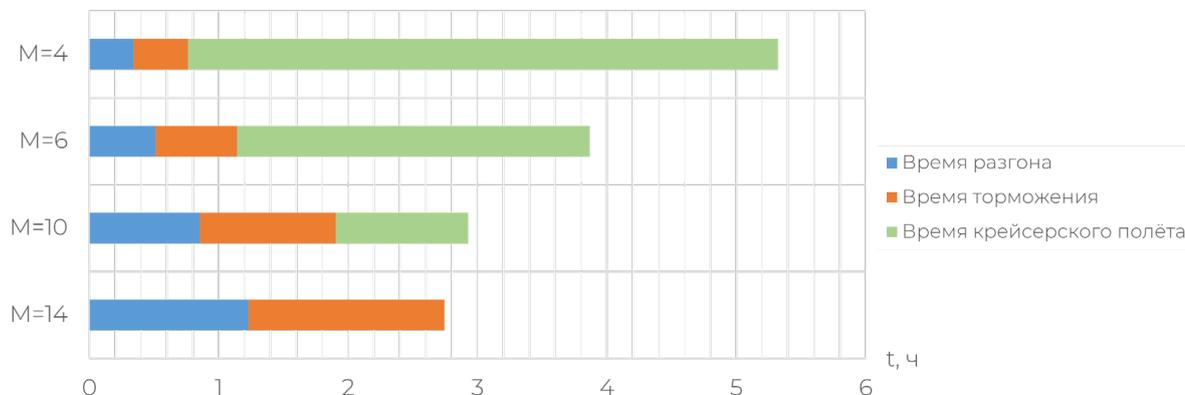


Рисунок 25 – Распределение режимов полета по времени на дистанции 21000 км

Вызовы и приоритетные задачи технологического развития российского авиастроения

Требования к перспективной АТ постоянно ужесточаются по всем направлениям (безопасность полетов, воздействие на окружающую среду, экономическая эффективность). При этом следует учитывать, что, с одной стороны, непрерывно ужесточаемые международные требования и нормы ИКАО в части защиты окружающей среды (по шуму, выбросам вредных веществ), а также «рыночные» механизмы технического регулирования наподобие схемы компенсации выбросов углекислого газа CORSIA, в действительности во многом являются механизмом недобросовестной конкуренции со стороны западных стран (и это одна из важных причин снижения актуальности целей достижения «конкурентоспособности российской АТ на мировом рынке»). С другой стороны, российские условия диктуют специфические требования к АТ и авиации в целом. Значительная протяженность территории Российской Федерации и низкая плотность населения на двух третьих ее территории делают авиацию безальтернативным средством обеспечения транспортной связанности регионов. Аналогично, по похожим причинам, именно авиация становится во многих отраслях (от сельского и лесного хозяйства до строительства и ТЭК) и регионах оптимальным средством выполнения различных работ нетранспортного характера, т.е. обширен и потенциал развития сектора авиационных работ. Но, например, для реализации безопасных, качественных и доступных авиаперевозок и авиационных работ в специфических условиях ОТДМР требуется АТ «малой авиации» (т.е. легкие воздушные суда, самолеты и вертолеты) с расширенными условиями базирования и эксплуатации, высокой

автономностью полётов и технического обслуживания и ремонта и т.п., при сравнительно малой вместимости и одновременном обеспечении низких эксплуатационных затрат, высокой крейсерской скорости и т.п. Это противоречивые и весьма амбициозные требования, удовлетворить которым невозможно в рамках нынешних технологий авиастроения.

Итак, создание перспективной гражданской АТ для России представляет собой большой вызов для авиационных науки и технологий, неразрешимый в рамках современных технологий. Т.е. имеются такие противоречия между требованиями и технологическими возможностями, такие дефициты свойств АТ, основанной на современном технологическом укладе, что они не могут быть разрешены никаким экстенсивным увеличением объемов ресурсов, выделяемых для решения национальных задач. Например, обеспечить на современном уровне (в т.ч. требований к качеству, включая частоту рейсов, ограничивающую минимальное время в пути) транспортную доступность ОТДМР с помощью современной АТ, в т.ч. легких самолетов и вертолетов, невозможно при любых реально доступных ресурсах государства на субсидирование местных авиаперевозок в ОТДМР и т.д. Аналогичная ситуация сложилась и в других сегментах авиатранспортной системы и авиационных работ.

Большие вызовы для развития гражданской авиации и авиастроения в России обусловлены ее спецификой (природно-климатической, экономико-географической, демографической, социально-экономической, геополитической и др.) и национальными интересами. При этом и мировая (вернее, зарубежная, в основном представленная странами, остающимися мировыми лидерами в гражданском авиастроении, т.е. США и ЕС) авиация в своем развитии столкнулась с аналогичными противоречиями между ужесточающимися требованиями и возможностями современных технологий, т.е. со своими большими вызовами. Способ их преодоления одинаков – это переход к следующим технологическим укладам.

Ниже кратко систематизированы основные вызовы технологического развития российского авиастроения на трех горизонтах планирования – кратко-, средне- и долгосрочного.

В краткосрочном периоде развития российской авиации и авиастроения (на рубеже 2030 г.) основной проблемой, вызванной санкционными войнами и прекращением поставок авиационной техники, компонентов, материалов и других критических ресурсов, послепродажных услуг, является необходимость обеспечения импортонезависимости российской авиации и авиастроения для самостоятельного производства гражданской авиационной техники в интересах российской авиатранспортной системы.

Остро стоит проблема поддержания летной годности парка авиационной техники зарубежного производства и отечественных образцов авиационной техники, разработанных и произведенных в

рамках международной кооперации, в отсутствие послепродажной поддержки со стороны разработчиков и производителей. Также актуально обеспечение безопасной и эффективной эксплуатации новой авиационной техники отечественной разработки и производства, особенно на начальном этапе, когда традиционные подходы к обеспечению надежности, основанные на массовой статистике эксплуатации, неприменимы по причине малочисленности парка изделий. Ввиду ограничения поставок современного бортового радиоэлектронного оборудования и необходимой электронной компонентной базы необходимо обеспечить минимизацию негативного влияния человеческого фактора на безопасность полетов с учетом временного снижения технологического уровня бортового оборудования и соответствующего повышения нагрузки на экипаж.

Также в ближнесрочной перспективе (к 2030 г.) предполагается развитие БАС гражданского назначения до уровня, при котором они начнут массово выполнять авиационные работы, грузовые и почтовые перевозки. При этом планируется их интеграция в единое воздушное пространство. Нахождение в одном воздушном пространстве пилотируемых и беспилотных и/или дистанционно пилотируемых ВС требует разработки новых принципов и технологий управления воздушным движением для сохранения и улучшения показателей безопасности полетов.

В среднесрочном периоде (на рубеже 2035-2040 г.) ключевые вызовы для развития российской авиации и авиастроения определяются необходимостью выполнения требований Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 г. с прогнозом на период до 2035 г. и других документов стратегического планирования к уровню авиационной подвижности населения и качеству авиатранспортного обслуживания населения Российской Федерации.

Для достижения целевых значений уровня авиационной подвижности населения необходимо повышение доступности магистральных перевозок (а именно, сокращение относительного, приведенного к уровню доходов населения, тарифа на 45-53%). При этом требования к повышению комфорта пассажиров диктуют необходимость обеспечения комфортабельных условий для отдыха и работы на борту магистральных ВС, в т.ч. наличия необходимой мощности систем энергоснабжения, связи и жизнеобеспечения.

Кроме того, необходимо обеспечить соответствие магистральных воздушных судов для выполнения международных авиаперевозок перспективным международным требованиям по снижению удельных выбросов вредных веществ и парниковых газов.

Выполнение жестких транспортных стандартов качества обслуживания территории России, включая требования к максимальному времени в пути до муниципальных центров, центров субъектов и между центрами субъектов Российской Федерации,

требует развития межрегиональных и внутрирегиональных транспортных систем, в т.ч. сокращения времени в пути на подвозящем транспорте. Удовлетворение требований стандартов по времени в пути до региональных центров в отдаленных и малонаселенных регионах потребует развития ВС МВЛ для удовлетворения противоречивых требований – расширенные возможности базирования и эксплуатации, и одновременно, приемлемая стоимость эксплуатации и крейсерская скорость полета.

Описанные изменения авиатранспортной системы России необходимо реализовать в условиях ограниченного объема материальных, кадровых и временных ресурсов, что обуславливает необходимость обеспечения рационального управления ее ресурсами в реальном времени.

В долгосрочном периоде (на рубеже 2050 г. и далее) ключевые вызовы научно-технологического развития авиации и авиастроения в России связаны с необходимостью существенного (на порядок) повышения доступности авиаперевозок в дальнем и в местном сообщении для качественного совершенствования пространственного развития Российской Федерации при невозрастании совокупных объемов выбросов и ущерба от авиационных происшествий. В магистральных перевозках требуется сокращение удельных показателей аварийности, удельной стоимости авиаперевозок и удельных выбросов – последнее недостижимо при использовании ископаемых углеводородных топлив и требует иных решений.

Значительная протяженность территории Российской Федерации обуславливает необходимость повышения скоростей крейсерского полета магистральных ВС вплоть до сверхзвуковых для перевозки некоторых категорий пассажиров и грузов.

В долгосрочной перспективе развитие систем городской и пригородной авиационной мобильности (необходимое для совершенствования пространственного развития регионов России, городских и пригородных агломераций) потребует массового производства и использования соответствующих ВС, упрощения и автоматизации управления персональными ВС при безусловном требовании обеспечения безопасности полетов.

Ожидаемое в долгосрочной перспективе многократное повышение объемов авиаперевозок и авиационных работ, количества ВС различных типов и классов (пилотируемых и беспилотных), находящихся в воздухе, плотности воздушного движения при категорическом требовании неухудшения показателей безопасности полетов создает большой вызов для систем и технологий управления движением ВС, выполнением их миссий, для систем и технологий управления воздушным движением, в т.ч. с учетом рисков в сфере кибербезопасности.

Соответственно, как ответ на эти вызовы сформированы и приоритетные задачи технологического развития российского авиастроения – также на трех горизонтах планирования.

В краткосрочном периоде развития российской авиации и авиастроения (на рубеже 2030 г.):

- создание минимального полного набора критических технологий авиастроения для обеспечения импортонезависимости гражданской авиационной техники отечественной разработки и производства на протяжении всего жизненного цикла;

- внедрение технологий индивидуального цифрового мониторинга и прогнозирования технического состояния изделий авиационной техники, а также психофизиологического состояния экипажа и иного авиационного персонала для обеспечения приемлемого уровня безопасности полетов и общей стоимости владения авиационной техникой в условиях малочисленных разнородных парков;

- разработка комплекса технологий автоматизированного управления движением беспилотных воздушных судов (далее – БВС) и управления воздушным движением для безопасной интеграции БАС в единое (несегрегированное) воздушное пространство Российской Федерации.

В среднесрочном периоде (на рубеже 2035-2040 гг.):

- эволюционное повышение топливной экономичности магистральных ВС и сокращение общей себестоимости перевозок на магистральных авиалиниях (в т.ч. путем применения более интегральных компоновок ВС, которые также повышают гибкость парка и возможности его конвертации для выполнения грузовых перевозок, а также путём совершенствования газотурбинных двигателей (ГТД), которые останутся основным типом двигателей для магистральных самолетов в среднесрочной перспективе);

- обеспечение возможности использования магистральными ВС SAF (для выполнения международных требований по сокращению вредного воздействия на окружающую среду);

- повышение доли электрических систем на борту гражданских ВС для реализации концепции «более электрических» ВС, обеспечения условий комфортабельного отдыха и работы пассажиров;

- обеспечение для ВС МВЛ сочетания расширенных возможностей базирования и эксплуатации (включая короткие или вертикальные взлет и посадку, в широком диапазоне метеоусловий и в любое время суток) и приемлемых скоростных и экономических характеристик в крейсерском полете (для повышения доступности и качества местных авиаперевозок, безопасности полетов) путем реализации новых компоновочных схем, в т.ч. с электрическими и гибридными распределенными силовыми установками, использование природного газа;

– оптимизация структуры и управления функционированием авиатранспортной системы в целом (по критериям повышения доступности, качества и безопасности авиаперевозок), в т.ч. обеспечение автоматизированного управления в режиме реального времени общими ресурсами парка ВС гражданской авиации России, аэропортовой сети и системы управления воздушным движением.

В долгосрочном периоде (на рубеже 2050 г. и далее):

– разработка технологий применения на гражданских ВС альтернативных видов топлива и энергоносителей (в т.ч. жидкого водорода, при условии общей технологической трансформации ТЭК) в обеспечение снижения стоимости авиаперевозок и удельной эмиссии вредных веществ;

– разработка комплекса технологий сверхзвуковых гражданских самолетов для дальних авиаперевозок с приемлемым уровнем звукового удара и шума на местности, безопасности полетов;

– разработка технологий бесконфликтного группового управления воздушным движением для сохранения уровня безопасности полетов при многократном повышении плотности воздушного движения;

– разработка технологий интеллектуальной автоматизации управления и интеллектуальной поддержки экипажа для обеспечения радикального упрощения (или полной автоматизации) управления легкими ВС;

– разработка технологий массового производства, технического обслуживания и ремонта доступных персональных ВС.

Вышеприведенные ключевые вызовы и приоритетные задачи технологического развития российского авиастроения наглядно систематизированы на рисунке 26 на трех горизонтах планирования: кратко-, средне- и долгосрочном.

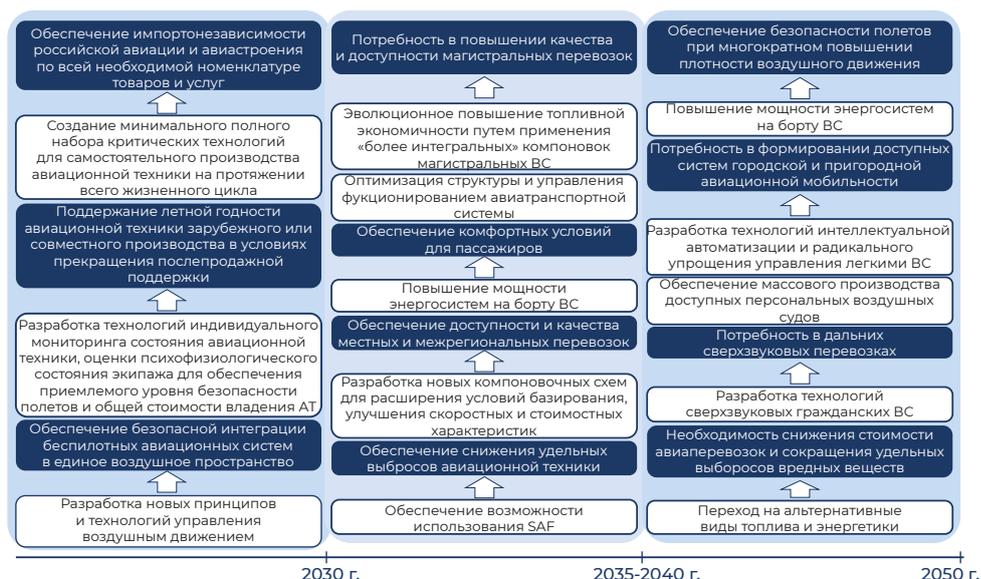


Рисунок 26 – Вызовы и приоритетные задачи технологического развития российского авиастроения

Приоритетные направления развития технологий в гражданском авиастроении в среднесрочной перспективе

Ввиду исчерпания возможностей улучшения существующих технологий для удовлетворения современным и, тем более, перспективным требованиям к АТ необходим переход на новый технологический уклад, который уже должен быть основан на новых группах технологий и фундаментальных знаниях. Путем согласования форсайтов спроса и предложения были определены следующие приоритетные направления развития технологий в области гражданского авиастроения в следующем (N+1)-м укладе:

- технологии электрических и гибридных силовых установок, применения в авиации новых видов топлив и энергоносителей (включая водород);
- технологии интеллектуального управления авиационными системами на всех уровнях, от управления функционированием систем летательных аппаратов и управления их движением до управления выполнением миссий и авиатранспортными системами (интегрированными авиационными системами) в целом;
- технологии предиктивной диагностики состояния ВС с использованием искусственного интеллекта;
- технологии высокоскоростного движения в различных средах, в т.ч. в воздухе, в космосе;
- технологии создания легких и прочных авиационных конструкций с применением новых «умных» материалов и методов производства;
- технологии новых компоновочных схем летательных аппаратов, в т.ч. с использованием возможностей новых типов силовых установок, новых материалов и интеллектуального управления.

В зарубежном авиастроении ответ на его большие вызовы видится в освоении этих же групп технологий. Однако есть различия в целеполагании и конкретных требованиях к этим технологиям, в приоритетах их разработки и внедрения. Так, например, если основной целью развития электрических и гибридных силовых установок в зарубежном авиастроении декларируется улучшение экологических характеристик авиации (впрочем, более чем дискуссионное, при комплексном анализе ущерба окружающей среде за весь жизненный цикл и в рамках глобальных промышленных, логистических и т.п. систем), то в России их развитие может быть направлено на обеспечение высокой безопасности полетов (за счет дублирования двигателей), эксплуатационной технологичности, многотопливности и т.п. – в соответствии с вышеописанной национальной спецификой. Для сокращения ущерба окружающей среде в российских условиях в ОТДМР важнее обеспечить доступность авиаперевозок на МВЛ (избегая строительства и содержания развитой сети малозагруженных наземных магистралей), чем сокращать удельные выбросы легких ВС.

На основании выделенных задач и направлений технологического развития были определены направления создания комплексного научно-технического задела в интересах разработки новых образцов авиационной техники гражданского назначения, в т.ч.:

- технологии снижения расхода топлива для повышения доступности магистральных авиационных перевозок;
- технологии сверхзвукового гражданского самолета для полетов на дальние расстояния с приемлемыми уровнями звукового удара и шума на местности;
- технологии самолета короткого взлета-посадки для повышения доступности региональных и местных авиационных перевозок;
- технологии винтокрылых летательных аппаратов для повышения авиационной мобильности.

Эти комплексные направления подразумевают создание интегрированного научно-технического задела и комплексов взаимосвязанных технологий авиастроения в рамках целостных обликов перспективных образцов АТ и технических концепций авиационной техники. Требуется разработка перечисленных комплексов технологий до уровня готовности УГТ-б и последующая их системная интеграция в составе приведенных обликов в рамках КНТП.

Помимо таких «продуктовых» направлений также были выделены следующие «сквозные» направления развития науки и технологий, применимые в рамках разных классов и типов АТ (и даже за пределами авиастроения):

- технологии автоматизации управления и поддержки принятия решений за счет повышения степени интеллектуализации комплекса бортового оборудования;

- технологии электрических и гибридных силовых установок, электрифицированных систем и применения альтернативных топлив;
- технологии легких и прочных «умных» материалов и конструкций;
- технологии индивидуального мониторинга и прогнозирования состояния воздушных судов, их систем и других элементов авиатранспортной системы.

Часть перечисленных «сквозных» технологических направлений нацелена не только на создание принципиально новых образцов АТ, но и на модернизацию современных, ныне выпускаемых, и даже на модернизацию парка АТ в эксплуатации.

Общая структура приоритетных направлений создания научно-технического задела в гражданском авиастроении наглядно приведена на рисунке 27.

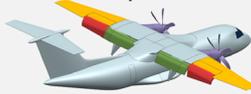
 <p>Технологии сверхзвукового гражданского самолёта с приемлемыми уровнями звукового удара и шума на местности</p> 	 <p>Технологии снижения расхода топлива для повышения доступности магистральных авиаперевозок</p> 	 <p>Технологии самолёта короткого взлёта-посадки для повышения доступности региональных и местных авиаперевозок</p> 	 <p>Технологии винтокрылых летательных аппаратов для повышения авиационной мобильности</p> 
<p>Технологии автоматизации управления и поддержки принятия решений за счет повышения степени интеллектуализации комплекса бортового оборудования</p>			
<p>Технологии электрических и гибридных силовых установок, электрифицированных систем и применения альтернативных топлив</p>			
<p>Технологии индивидуального мониторинга и прогнозирования состояния воздушных судов, их систем и других элементов авиатранспортной системы</p>			

Рисунок 27 – Приоритетные направления развития технологий в области гражданского авиастроения

Создание и внедрение перечисленных комплексов технологий следующего технологического уклада позволит удовлетворить требованиям среднесрочной перспективы к гражданской авиации и авиационной технике в России. Необходимое условие разработки и внедрения этих комплексов технологий – опережающее развитие нормативной базы (в том числе норм лётной годности и методов оценки соответствия), а также экспериментальной базы, методов и средств испытаний.

Технологические барьеры развития авиации в долгосрочной перспективе

Выявлены дефициты свойств, которые неразрешимы на основе современных технологий в среднесрочной перспективе, а также ряд проблем, которые сохраняются даже в случае внедрения технологий

авиастроения и технических концепций авиационной техники N+1-го технологического уклада. Сформулированы долгосрочные вызовы для обеспечения (на требуемом в долгосрочной перспективе уровне) доступности и качества авиаперевозок и авиационных работ, безопасности и снижения воздействия на окружающую среду, а также приоритетные направления преодоления этих вызовов. Их можно сгруппировать в следующие «дисциплинарные» группы, ставящие задачи перед соответствующими фундаментальными научными дисциплинами.

Ресурсно-энергетические барьеры: необходимость сокращения удельного расхода энергии на авиаперевозки для достижения желаемых уровней авиационной подвижности (в дальнем и местном сообщении), особенно ископаемого топлива, и сопутствующих выбросов. При оценке количественного уровня перспективных требований к уровню энергопотребления и удельных выбросов учитывается возможность замещения экономии энергии и сокращения прочих составляющих ПЭР при изменении цен ресурсов например, при существенном удешевлении энергии и сокращении выбросов в рамках жизненного цикла может не потребоваться многократное сокращение удельного энергопотребления, как и сопутствующее усложнение и удорожание конструкций АТ).

Производственные барьеры: необходимость радикального сокращения трудоемкости и энергоемкости производства, ТОиР АТ. Приоритетные направления преодоления вызова – это автоматизация производства, рациональное внедрение аддитивных технологий производства и ремонта, интеллектуальные материалы и конструкции, в т.ч. самовосстанавливающиеся, а также интеллектуальная предиктивная диагностика состояния и управление состоянием и использованием.

Управленческие барьеры: необходимость глубокой автоматизации управления движением ВС и УВД, причем, при радикальном повышении интенсивности воздушного движения и его усложнении («распределенные аэропорты», вплоть до свободного выбора площадок с воздуха; в дальней перспективе – интеграция воздушного и космического пространства, при появлении многосредных ВС), т.е. при повышении размерности задач УВД. Приоритетное направление преодоления данного вызова – поэтапная интеллектуализация управления авиационными системами (включая интеллектуальную помощь пилоту легких ВС для снижения требований к его квалификации, обеспечение полностью автономного пилотирования БВС).

Физические барьеры: необходимость дальнейшего улучшения лётно-технических характеристик ВС в следующих направлениях:

– обеспечение сверхзвуковых полетов с приемлемым уровнем звукового удара, а в дальнейшем – повышение скорости полета

до гиперзвуковой и переход к суборбитальным полетам, создание многосредних воздушно-космических ВС гражданского назначения;

- развитие амфибийных ВС и обеспечение их высокой мореходности, а также безопасности приводнения прочих ВС;

- расширение диапазонов допустимых условий эксплуатации ВС (в т.ч. взлета и посадки) по высоте над уровнем моря, интенсивности и направлению ветра, температурам воздуха и иным атмосферным параметрам, осадкам, обледенению и т.д.;

- обеспечение безопасных расширенных условий базирования ВС, в т.ч. как высоких взлетно-посадочных характеристик (в пределах – вертикальных взлета и посадки), так и возможности совершать взлет и посадку в условиях сильных ветров с переменным направлением, обеспечение устойчивого полета малоразмерных легких ВС, в т.ч. БВС, в условиях сильного ветра (что пока ограничивает их эксплуатацию в арктической зоне Российской Федерации), обеспечение безопасного управляемого полета в условиях интенсивной турбулентности, включая естественную и индуцированную (спутный след);

- обеспечение точности навигации и пилотирования ВС, в т.ч. в условиях плотной застройки;

- расширение диапазонов масс и габаритов ВС, в т.ч. повышение максимальной грузоподъемности ВС и габаритов перевозимых моногрузов и миниатюризация БВС.

Приоритетные направления развития технологий авиастроения в долгосрочной перспективе и ожидаемая эффективность их применения



Все продуктовые технологии авиастроения можно систематизировать по следующим функциональным группам: создание подъемной силы, создание силы тяги, обеспечение прочности конструкций и управление движением и функционированием систем.

В соответствии с этой классификацией специалистами Центра выявлены и систематизированы перспективные направления научно-технологического развития авиастроения на долгосрочный период, а также оценки их влияния на характеристики перспективных образцов АТ. В таблице 1 систематизированы оценки ожидаемых эффектов с учетом технической реализуемости, однако стоит отметить, что фундаментальные пределы развития выделенных направлений могут быть выше.

Таблица 1 – Перспективные направления научно-технологического развития авиастроения

Технологическое направление	Цели научно-технологического развития	Области применения	Технические концепции и ожидаемый эффект
Функциональная группа: подъемная сила			
Ламинаризация обтекания	Доступность (экономичность) Воздействие на окружающую среду и климат	Магистральные авиаперевозки Региональные авиаперевозки	Магистральный самолет: - снижение на 10-12% расхода топлива и выбросов CO ₂ . Региональный самолет: - снижение на 9-11% расхода топлива и выбросов CO ₂ .
Интегральные аэродинамические компоновки	Доступность (экономичность) Воздействие на окружающую среду и климат	Магистральные авиаперевозки	Магистральный самолет: - сокращение на 10% расхода топлива и выбросов CO ₂ .
Аэродинамическая интеграция движителей и планера	Доступность (экономичность, базирование) Воздействие на окружающую среду и климат Качество услуг	Магистральные авиаперевозки Региональные авиаперевозки Местные авиаперевозки	Магистральный и региональный самолеты: - сокращение расхода топлива на 5-7% за счет активного управления обтеканием. Самолет короткого взлета и посадки: - сокращение взлетной и посадочной дистанции до 30%.
Аэродинамические компоновки со сниженным звуковым ударом	Качество услуг	Магистральные авиаперевозки	Сверхзвуковой гражданский самолет: - сверхзвуковая скорость крейсерского полета над населенными регионами.
Функциональная группа: пропульсивная сила			
Совершенствование традиционных силовых установок	Доступность (экономичность) Воздействие на окружающую среду и климат	Сквозное технологическое направление	Внедрение композитных и высокотемпературных керамических материалов: - снижение массы двигателя до 30 %; - повышение КПД на 1-2 %. Для ТРДД: - снижение удельного расхода топлива на 10-20% по сравнению с современным уровнем. Электрификация ГТД: - снижение массы и миделя двигателя на 10-20%; - повышение топливной экономичности на 2-3%; - повышение надежности и трудоемкости изготовления на 10-15%. «Интеллектуальный ГТД»: - улучшение топливной экономичности авиационных двигателей на 10 %; - кратное повышение надежности и безопасности эксплуатации; - снижение эксплуатационных расходов на 20%

Технологическое направление	Цели научно-технологического развития	Области применения	Технические концепции и ожидаемый эффект
Полностью электрические силовые установки	Доступность (аэромобильность) Воздействие на окружающую среду и климат	Городская аэромобильность Местные авиаперевозки Авиационные работы	Сверхлёгкие пассажирские ВКЛА, самолёты малой авиации и самолёты МВЛ, БВС различного типа и назначения: - сокращение выбросов ВС CO ₂ на 100%; - сокращение эксплуатационных затрат на 30-50%. 9-ти местный самолёт МВЛ, дальность полёта до 200 км: - удельная ёмкость аккумуляторов 0,3 кВт ч/кг и без выбросов CO ₂ .
Гибридные силовые установки	Доступность (базирование) Воздействие на окружающую среду и климат	Местные авиаперевозки Региональные авиаперевозки	Самолёт МВЛ, региональный самолёт: - снижение расхода топлива на 10-20%; - снижение взлётно-посадочной дистанции на 20-30%; - сокращение эксплуатационных затрат на 10-15%; - повышение ресурса СУ на 10-15% за счет уменьшения температуры газа в КС. - снижение расхода топлива и выбросов CO ₂ на 10%
Традиционные силовые установки на водороде	Воздействие на окружающую среду и климат	Магистральные авиаперевозки Региональные авиаперевозки	Магистральный и региональный самолёт: - сокращение выбросов CO ₂ на 100%; - сокращение выбросов NOx на 10-15%.
Силовые установки на водороде с использованием топливных элементов	Воздействие на окружающую среду и климат	Местные авиаперевозки Региональные авиаперевозки	Самолёт МВЛ, региональный самолёт: - сокращение выбросов CO ₂ на 100%; - сокращение выбросов NOx на 100%.
Малоэмиссионная камера сгорания	Воздействие на окружающую среду и климат	Магистральные авиаперевозки Региональные авиаперевозки	Магистральный и региональный самолёты: - снижение эмиссии NOx двигателей от 50% (низкий сценарий) до ~100% (высокий сценарий) от технологических целей, установленных независимыми экспертами в цикле CAEP/7, т.е. от 67,5% до 90% ниже требований CAEP/6.
Авиационное топливо со сниженным углеродным следом (LCAF)	Воздействие на окружающую среду и климат	Международные авиаперевозки	Сквозное технологическое направление: - снижение на 10% эмиссии CO ₂ /МДж при производстве LCAF относительно нефтяного стандартного авиационного топлива.

Технологическое направление	Цели научно-технологического развития	Области применения	Технические концепции и ожидаемый эффект
Устойчиво производимое авиационное топливо (SAF)	Воздействие на окружающую среду и климат	Международные авиaperевозки	Сквозное технологическое направление: - 100% выбросов CO ₂ в полном энергетическом цикле
Функциональная группа: конструкция			
Композитные материалы и новые принципы создания конструкций (прокомпозитные и бионические)	Доступность (экономичность) Воздействие на окружающую среду и климат	Сквозное технологическое направление	Сквозное технологическое направление: <i>снижение расхода топлива и выбросов CO₂ на</i> - 1-1,5% для магистрального самолёта; - 1,5-2% для регионального самолёта; - 2,5-3,5% для самолётов малой авиации. <i>Повышение ресурсных характеристик</i> +2% для магистрального самолёта; +3% для регионального самолёта; +10% для самолётов малой авиации +5% для ВКЛА. <i>Совершенствование двигателей:</i> - снижение массы двигателя до 30 %; - повышение КПД на 1-3%; - снижение вибраций на 10-30%.
Функциональная группа: управление			
Мониторинг, контроль и прогнозирование состояния элементов воздушного судна и авиатранспортной системы	Безопасность Доступность (экономичность)	Сквозное технологическое направление	Сквозное технологическое направление: - сокращение авиационных происшествий на 10-12%; - увеличения среднего срока службы ВС до 10%, двигателей – до 20%; - снижение эксплуатационных расходов на 20-30% за счет перевода ПКИ на эксплуатацию по техническому состоянию.

Технологическое направление	Цели научно-технологического развития	Области применения	Технические концепции и ожидаемый эффект
Автоматизация управления и поддержка принятия решений	Безопасность Доступность (экономичность) Качество услуг.	Сквозное технологическое направление	Сквозное технологическое направление: - предотвращение авиационных происшествий до 10-15%; - снижение вероятности возникновения авиационных происшествий по причине ошибки пилотирования с 56% до 10%; - ограничение информационного взаимодействия между пилотом и воздушным судном на 50%; - снижение расхода топлива на рейс на 3% при рулении и на 2% в полёте; - снижение требований к налёту для линейных пилотов с 4000ч до 1500ч; - снижение расхода топлива и эмиссии вредных веществ на 10-15%; - снижение эксплуатационных затрат (повышение эксплуатационной технологичности) до 30% за счет снижения трудоемкости управления, требований к подготовке пилотов, а также принятия более рациональных решений при выполнении миссий.

Направления ориентированных фундаментальных исследований в интересах авиастроения

В связи с тем, что долгосрочные требования к АТ становятся все более высокими, в долгосрочной перспективе неизбежно исчерпание пределов совершенствования технологий нового, N+1-го технологического уклада, и наступает необходимость перехода на следующий, N+2-й (см. рисунки 1 и 2). Причем, он может быть основан на совершенно новых и неожиданных областях фундаментальных знаний (достаточно сравнить фундаментальные основы создания авиационных силовых установок N+1-го технологического уклада – электрических, гибридных и т.п., и нынешнего, основанного на тепловых двигателях и достижениях газовой динамики, теории горения и теплообмена). Фундаментальный научный задел для развития перечисленных групп технологий N+1-го технологического уклада был, в основном, создан (в электрохимии, криогенике, аэродинамике, в т.ч. сверх- и гиперзвуковой, теории прочности полимерно-композитных материалов, теории интеллектуального управления) на рубеже 20-21 веков. Однако переход к N+2-му технологическому укладу требует создания фундаментального задела уже в иных направлениях.

На основании проведенного анализа и систематизации приоритетных технологий авиастроения и сквозных технологий, относящихся к текущему и последующим технологическим укладам (N, N+1 и N+2), а также областей фундаментальной науки, создающих фундаментальный научный задел для разработки соответствующих технологий, обосновано, что в интересах разработки перспективных технологий авиастроения целесообразно проведение фундаментальных и поисковых исследований в следующих приоритетных направлениях.

В области аэродинамики и управления течениями:

- плазменная аэрогидродинамика и новые методы управления течениями жидкостей и газов;
- акустика звукового удара;
- высокопроизводительные численные методы аэродинамики и аэроакустики.

В области энергетики, силовых установок и энергоносителей:

- фундаментальные основы создания топливных элементов и аккумуляторов;
- фундаментальные основы создания силовой электроники;
- фундаментальные основы процессов производства альтернативных топлив, в т.ч. биотоплива и водородного топлива;
- фундаментальные основы процессов ожижения, транспортировки и хранения криогенных топлив, в т.ч. на земле и на борту воздушных судов;
- теория сверхпроводимости, в т.ч. эффекты высокотемпературной сверхпроводимости.

В области материалов и конструкций, производственных технологий:

- механика разрушения ПКМ, новые связующие;
- методы и фундаментальные основы неразрушающего контроля силовых конструкций;
- механика сетчатых и бионических конструкций с применением ПКМ;
- фундаментальные основы создания материалов и покрытий с использованием нанотехнологий;
- фундаментальные проблемы создания аддитивных технологий производства и ремонта ответственных авиационных конструкций;
- методы лазерного упрочнения поверхности материалов.

В области методов и средств управления:

- технологии и методы «слабого» искусственного интеллекта, нейронных сетей с глубоким обучением;

- методы многодисциплинарного математического и компьютерного моделирования и оптимизации сложных технических систем;
- новые принципы навигации, в т.ч. на основе физических полей;
- киберфизические системы;
- физиология человека и высшей нервной деятельности;
- «сильный» искусственный интеллект;
- мультиагентные крупномасштабные системы, групповое и роевое управление.

Заключение



Таким образом, для различных горизонтов планирования сформирован и обоснован прогноз технологического развития гражданского авиастроения в России, учитывающий страновую специфику и направленный на достижение национальных целей развития Российской Федерации. На рисунке 28 кратко представлены основные задачи и приоритетные направления развития технологий авиастроения в рамках различных технологических укладов. Также для каждого горизонта планирования показаны ожидаемые эффекты от реализации описанных сценариев технологического развития авиастроения и гражданской авиации. Следует подчеркнуть, что это оптимистические сценарии, построенные в предположении, что все обоснованные в данном прогнозе приоритетные направления развития технологий удастся реализовать.

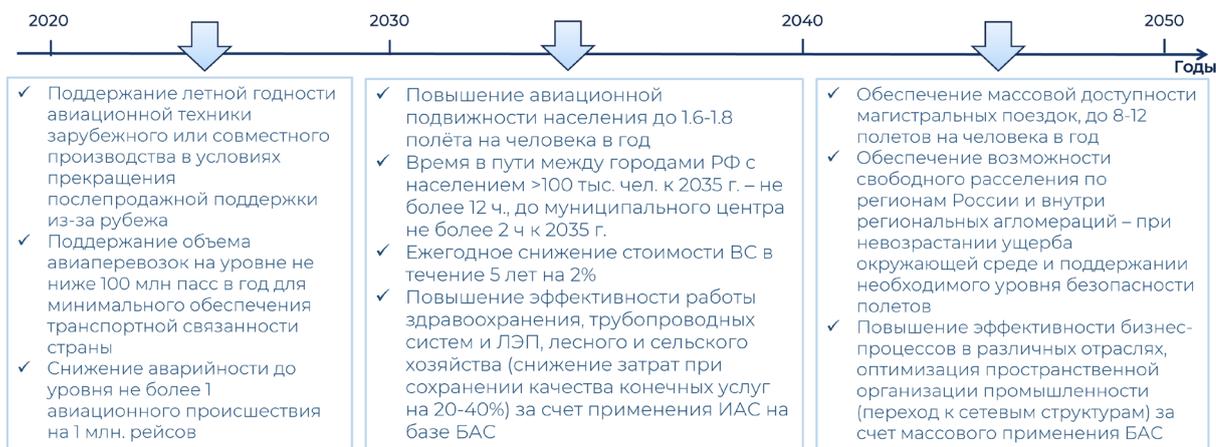
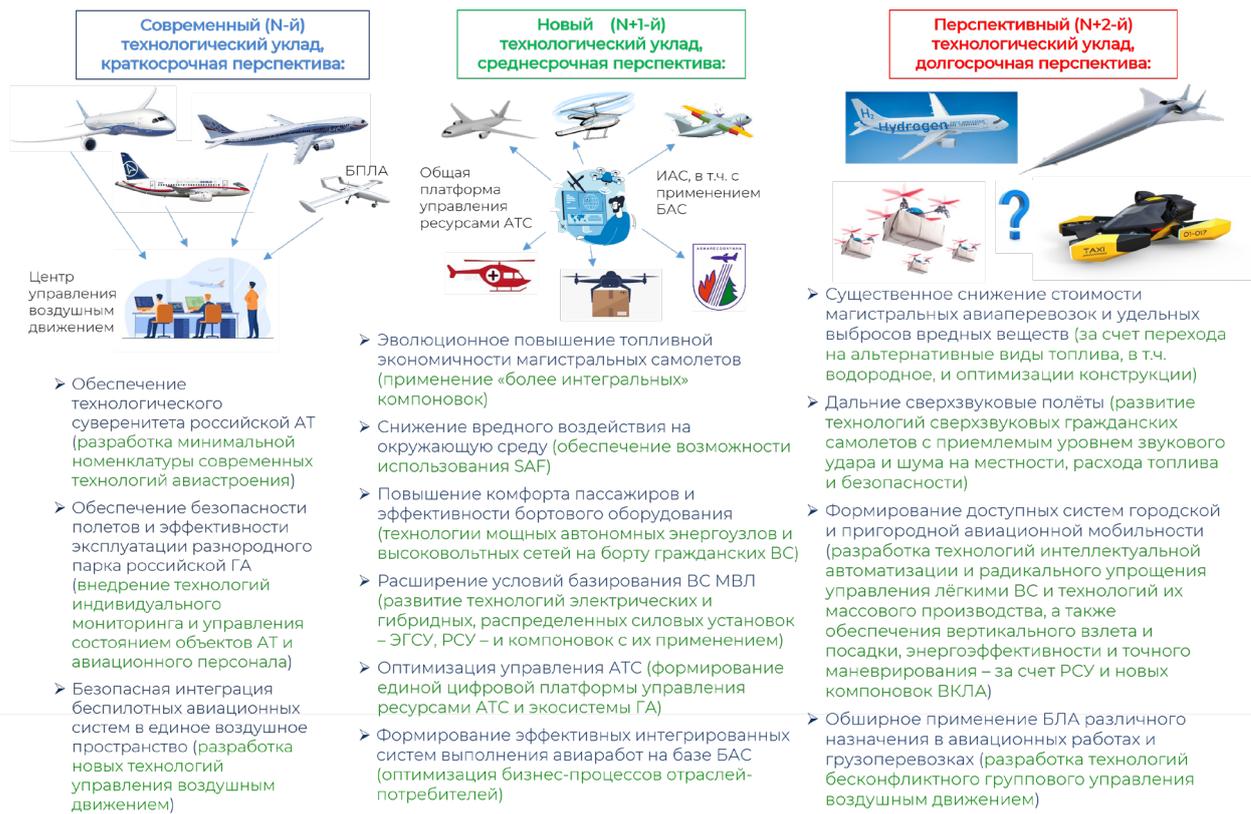


Рисунок 28 – Оптимистический прогноз развития технологий, исследований и разработок в российском гражданском авиастроении в кратко-, средне- и долгосрочной перспективе

Перечень аббревиатур



АП – авиационные происшествия;
АС – авиационная система;
АТ – авиационная техника;
АТС – авиатранспортная система;
БАС – беспилотная авиационная система;
БВС – беспилотное воздушное судно;
БПЛА – беспилотный летательный аппарат;
ВВП – внутренний валовый продукт;
ВС – воздушное судно;
ВСМ – высокоскоростная магистраль;
ВКЛА – винтокрылый летательный аппарат;
ВСУ – вспомогательная силовая установка;
ГА – гражданская авиация;
ГАМ – городская авиамобильность (Urban Air Mobility, UAM);
ГТД – газотурбинные двигатели;
ИАС – интегрированные авиационные системы;
ИКАО – Международная организация гражданской авиации;
КПД – коэффициент полезного действия;
КНТП – комплексный научно-технологический проект;
ЛЭП – линии электропередач;
МА – малая авиация;
МВЛ – местные воздушные линии;
НИР – научно-исследовательская работа;
НТЗ – научно-технический задел;
НТР – научно-технологическое развитие;
ОКР – опытно-конструкторские работы;
ОТДМР – отдаленные, труднодоступные и малонаселенные регионы России;
ПАНХ – применение авиации в народном хозяйстве;
ПКМ – полимерно-композитные материалы;
ПКИ – покупные комплектующие изделия;
ППО – послепродажное обслуживание;
ПЭР – прямые эксплуатационные расходы;
РС – региональный самолет;
РСУ – распределенные силовые установки;
СПС – сверхзвуковой пассажирский самолет;
ТОиР – техническое обслуживание и ремонт;
ТРДД – турбореактивный двухконтурный двигатель;
ТУ – технологический уклад;
ТЭК – топливно-энергетический комплекс;
УВД – управление воздушным движением;
УГТ – уровень готовности технологии;
ЭГСУ – электрические и гибридные силовые установки;
ЭСУ – электрические силовые установки;
CORSA – Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation, схема возмещения и сокращения эмиссии углерода для международной авиации.
LCAF – Low Carbon Aviation Fuel, авиационное топливо со сниженным углеродным следом;
LTAG – Long-Term Aspirational Goals, долгосрочная желательная цель;
SAF – Sustainable Aviation Fuel, устойчиво производимое авиационное топливо (отвечающее требованиям устойчивого развития).

Верстка, дизайн, подготовка макета *Е.Д. Гурьянов*
Отпечатано в типографии ФАУ «ГосНИИАС»
125319, г. Москва, ул. Викторенко, дом 7, корп. 2.
Тираж ... экз.

