

Летательные аппараты категории «новая аэромобильность».

Задачи сертификации по шуму (обзор)

Баева С.И., Почкин Я.С., Халецкий Ю.Д.

Центральный институт авиационного моторостроения им. П.И. Баранова, г. Москва

e-mail: ydkhaletskiy@ciam.ru

В обзоре представлены ожидаемые проблемы, связанные с вводом в эксплуатацию летательных аппаратов (ЛА) категории «новая аэромобильность» (аэротакси, малые беспилотные воздушные суда и др.). Появление в воздушном пространстве таких ЛА будет способствовать совершенствованию мировой транспортной системы. Однако их ввод в эксплуатацию требует решения некоторых задач, в том числе в области акустики. Рассмотрены проблемы сертификации и оценки шума ЛА новой категории, обусловленные их конструктивными особенностями и разнообразием, а также условиями эксплуатации.

Ключевые слова: новая аэромобильность, городская аэромобильность, электрическая силовая установка, летательный аппарат горизонтального взлета и посадки, летательный аппарат вертикального взлета и посадки, беспилотный летательный аппарат, оценка шума, сертификация

Approaches for noise certification of the new category aircraft “Emerging Technology Aircraft” (review)

Baeva S.I., Pochkin Ia.S., Khaletskii Iu.D.

CIAM, Moscow

The review discusses the expected issues associated with new vehicle category “Emerging Technology Aircraft” (urban air mobility, UAM etc.) entry into service. The appearance of such vehicles is an opportunity for aviation to improve transportation systems around the world. However there will be issues that need to be addressed including noise reduction. The problems of certification and noise prediction of a new aircraft category due to operating conditions and the design features and diversity are considered.

Keywords: emerging technology aircraft, urban air mobility, electric propulsion system, electric conventional takeoff and landing, electric vertical takeoff and landing, unmanned aircraft systems, noise prediction, certification

Введение

В своих решениях Международная организация гражданской авиации (ИКАО) отмечала, что в мировую систему воздушного транспорта необходимо встраивать новую категорию воздушных судов (ВС), условно называемую средствами «новой аэромобильности» (emerging technology aircraft, ETA). В ближайшем будущем в аэрокосмической отрасли ожидается ввод в эксплуатацию множества новых типов таких летательных аппаратов (ЛА). Терминологию в этой области ИКАО окончательно пока не приняла. К новой категории ВС можно отнести и беспилотные ЛА (БПЛА, unmanned aircraft systems, UAS), и средства «городской аэромобильности» (urban

air mobility, UAM), и дистанционно пилотируемые ЛА (remotely-piloted aircraft systems, RPAS), электрические ЛА вертикального взлета и посадки (eVTOL) и др. Все они предоставляют широкий спектр возможностей, реализация которых ранее не представлялась возможной.

ИКАО рассматривает возможные экологические проблемы, связанные с эксплуатацией таких транспортных средств (ТС), создаваемых с применением новых технологий. Вполне вероятно, что их невозможно или неприемлемо сертифицировать по шуму согласно нормам для широких категорий ВС, закрепленным в томе 1 приложения 16 к Конвенции о международной гражданской авиации [1]. В предлагаемом обзоре обсуждаются потенциальные проблемы, связанные с появлением



Рис. 1. Воздушное пространство сегмента малых и средних БПЛА [2; 3]

новых участников воздушного движения, в частности особенности сертификации ЛА категории ЕТА [2].

Технологии, применяемые в ЛА новой категории, включают электрическую силовую установку, распределенную подъемную силу и автоматизированное управление полетом. Проблему интеграции летательных аппаратов категории ЕТА в транспортную систему изучают многие организации по всему миру. Она потребует создания вертипортов¹⁾, которые будут служить местными транспортными узлами для людей и грузов. Предполагается, что и пилотируемые, и автономно управляемые транспортные средства будут выполнять многочисленные короткие полеты на относительно малой высоте над населенными районами, которые обычно не подвергаются воздействию авиационного шума. Ожидается, что характер шума будет отличаться от шума сегодняшних вертолетов и самолетов авиации общего назначения. Новое акустическое воздействие и раздражение от движения этих воздушных судов могут ограничить успех их интеграции в транспортную систему.

Исследования, посвященные снижению авиационного шума, и внедрение результатов этих исследований в промышленности имеют долгую историю. Успех снижения авиационного шума обусловлен сотрудничеством между правительственными учреждениями, предприятиями промышленности и институтами, выполняющими научные исследования. Разработка технологий шумоподавления и демонстрация их технической реализуемости согласуются с разработкой стандартов регулирования шума, включая установление предельных уровней шума, утверждение методов испытаний и регламентирование других процедур.

Для обычных транспортных средств накоплены базы данных об измеренном шуме и разработано множество

расчетных методов прогнозирования шума. Эти методы помогают регулирующим органам и производителям оценивать его воздействие. С внедрением ТС «новой аэромобильности» необходимо будет разработать новые инструменты и технологии, чтобы достичь аналогичной достоверности прогнозирования и снижения уровня шума. Существующие методы по-прежнему будут полезны; однако необходимо определить пробелы в существующем наборе инструментов и в текущих базах данных, чтобы можно было разработать планы создания новых технологий. Настоящий обзор призван выявить различия между современными воздушными судами и ТС «новой аэромобильности» в инструментах и технологиях прогнозирования шума и их валидации, методах снижения шума, малозумных эксплуатационных процедурах, в определении показателей, связанных с реакцией человека, а также в методах измерений при наземных и летных испытаниях.

Область применения транспортных средств «новой аэромобильности»

Многообразие типов летательных аппаратов, рассматриваемых в категории ТС «новой аэромобильности» (ЕТА), в NASA представляют как концептуальное воздушное пространство из нескольких сегментов – сетей ЕТА (рис. 1 – рис. 3) [2]. В табл. 1 дано определение для каждого сегмента и представлены технические характеристики ВС, которые следует рассматривать как ориентировочные.

Категория ТС «новой аэромобильности» признана быстро развивающейся областью авиации, которая потребует создания бесшумных ВС для работы вблизи вертипортов. Несколько концепций транспортных средств

¹⁾ Вертипорт – аэропорт, созданный для приема и отправки небольших летательных аппаратов вертикального взлета и посадки.

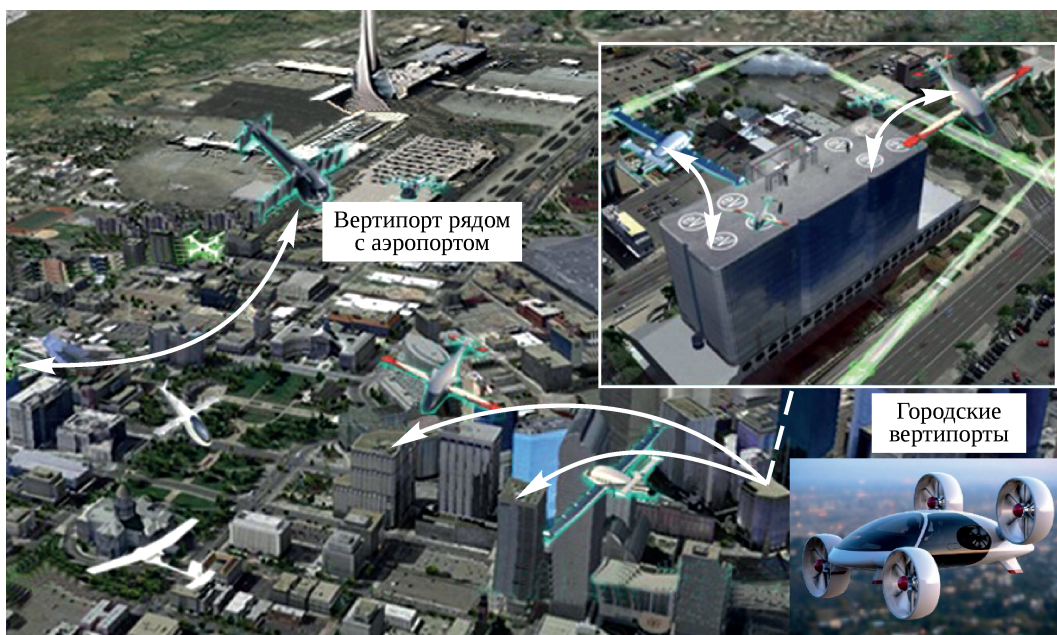


Рис. 2. Воздушное пространство сегмента «городское аэротакси» [2; 4]



а



б



в

Рис. 3. Воздушное пространство (а) сегментов «крупные и высотные БПЛА длительной работы» (б) и «короткие перевозки» (в) [2; 4; 5]

«новой аэромобильности» предполагают переход из режима висения в режим горизонтального полета путем наклона несущих винтов, аналогично тому, как работают современные конвертопланы. Другие концепции предполагают полное или частичное отключение несущих винтов, предназначенных для вертикального подъема, и использование одного или нескольких винтов, предназначенных для горизонтального полета. Транспортные

средства могут быть классифицированы следующим образом: ЛА с двигателями для взлета и крейсерского полета, ЛА с разными двигателями для взлета и крейсерского полета и ЛА с двигателями только для взлета (мультикоптеры). Списки таких ЛА приведены в [6]. Кроме того, в рамках проекта NASA «Революционная технология вертикального взлета» (RVLT) было определено несколько эталонных транспортных средств для

Табл. 1. Сети ТС «новой аэромобильности» и характеристики воздушных судов

Сеть	Описание сети	Характеристики ВС
Малые и средние БПЛА	Быстро набирающий популярность ряд беспилотных ВС разного размера с разными возможностями; требует создания новых технологий и оборудования, обеспечивающих высокую интенсивность эксплуатации	– без пассажиров; – малая и средняя высота полета; – скорость до 200 км/ч; – коммерческая нагрузка 5...500 кг; – длина маршрута 20...2000 км; – двигатель – электрический (eVTOL), гибридный
Городское аэротакси (UAM)	Быстро развивающаяся сеть ВС вертикального взлета и посадки с высокой интенсивностью эксплуатации для обеспечения доступной, бесшумной и быстрой транспортировки по требованию в рамках гибкой и доступной сети вертипортов	– не более 6 пасс.; 0...1 пилот; – высота полета не более 1 км; – скорость до 370 км/ч; – коммерческая нагрузка 400...4000 кг; – длина маршрута 200 км; – двигатель – электрический (eVTOL), гибридный
Короткие перевозки	Существующая сеть требует оживления и расширения регулярных и нерегулярных перевозок из аэропорта в аэропорт путем поэтапного повышения экономичности малых самолетов, что обеспечивается электрификацией и автономностью систем (междугородние и пригородные маршруты)	– 9...30 пасс. или эквивалентный вес; 0...2 пилота; – высота полета менее 4 км; – скорость до 550 км/ч; – коммерческая нагрузка 3000...15 000 кг; – длина маршрута 400...2000 км; – двигатель – электрический (eCTOL)
Крупные БПЛА и высотные БПЛА длительной работы	Расширяющаяся сеть беспилотных ВС, выполняющих длительные полеты на разной высоте и использующих технологии автоматизации	– без пассажиров; – средняя и большая высота полета; – скорость полета до 500 км/ч; – коммерческая нагрузка 50...3000 кг; – длина маршрута более 5500 км; – двигатель обеспечивает длительную безостановочную работу

Примечание. eVTOL (electric vertical takeoff and landing) – электрические ЛА вертикального взлета и посадки. eCTOL (electric conventional takeoff and landing) – электрические ЛА горизонтального взлета и посадки.



Рис. 4. Транспортные средства, использующие «революционную технологию вертикального взлета» (RVLT) [2]

оценки технологий и их влияния на эксплуатационные требования. Подробная информация об эталонных транспортных средствах RVLT приведена в [7; 8], некоторые примеры показаны на рис. 4.

Проблема шума транспортных средств «новой аэромобильности»

Для снижения авиационного шума ИКАО рекомендует использовать сбалансированный подход, который включает снижение шума в источнике, управление землепользованием, эксплуатационные процедуры снижения шума и эксплуатационные ограничения для воздушных судов [9]. Технологии подавления шума в источнике исполь-

зовали в конструкции воздушных судов и совершенствовались на протяжении многих лет. Благодаря эффективным технологиям шумоподавления и связанным с ними строгим требованиям сертификации, предусмотренным законодательством, населенные пункты вблизи аэропортов подвергаются значительно меньшему воздействию шума от отдельного полета ВС по сравнению с теми же населенными пунктами 60 лет назад. Успешное внедрение технологий и ужесточение требований способствовали развитию авиационного рынка. Чтобы уменьшить воздействие шума в районах, прилегающих к аэропортам, оптимизируют режим работы, траекторию и даже расписание полетов (например, вводят комендантский час). Руководящие принципы планирования землепользования сформулированы таким образом, чтобы уменьшить последствия деятельности аэропорта на прилегающей территории.

Из летательных аппаратов, находящихся сегодня в эксплуатации, с ТС «новой аэромобильности» наиболее сходны по своим действиям обычные вертолеты и конвертопланы. Они взлетают с вертолетных площадок, которые могут находиться недалеко от жилых районов. Полеты выполняются на меньшей высоте, нежели полеты самолетов традиционной схемы. Воздействию на население шума вертолетов посвящено исследование [10],

авторы которого рассматривали акустические и неакустические факторы, а также отличия от воздействия гражданских самолетов. Основная цель состояла в том, чтобы выяснить, является ли шум вертолета более раздражающим, чем шум самолета. Опросы были проведены среди жителей трех городских районов, расположенных вблизи аэропортов и подверженных воздействию шума гражданских вертолетов и самолетов. Результаты не выявили убедительных различий в раздражающем воздействии шума легких гражданских вертолетов и самолетов при сопоставимых уровнях звукового воздействия. Тем не менее воздействие шума вертолетов на население продолжает оставаться проблемой. Использование вертолетов в туристических целях также подлежит ограничению. Существуют передовые технологии снижения шума вертолетов, которые можно использовать применительно к ТС «новой аэромобильности» [11].

Велика вероятность того, что с началом эксплуатации ЛА новой категории воздействию авиационного шума будет регулярно подвергаться значительно больше населения, поскольку ожидается, что эти ВС будут летать гораздо чаще, чем вертолеты. Вертипорты, вероятно, будут расположены в населенных районах, где шум ТС «новой аэромобильности» будет самым высоким из-за полетов на малой высоте и осуществления взлета-посадки. Все эти проблемы сходны с сегодняшними проблемами эксплуатации вертолетов. Важное значение будет иметь работа с населением – его информирование, опросы и т.д.

Проблема, уникальная для оценки шума ТС «новой аэромобильности», заключается в том, что шум ЛА разной конструкции может кардинально различаться по спектральным и временным характеристикам. Для самолетов и вертолетов это не характерно. Изменчивость акустических характеристик ТС «новой аэромобильности» может ограничивать преимущества использова-

ния привычных показателей уровня шума, например скорректированного по частотной шкале А уровня звукового давления. Для сравнения акустического воздействия новых транспортных средств могут потребоваться разные показатели, потому что их шум отличается не только амплитудой.

В статье будут рассмотрены существующие методы оценки шума, их недостатки применительно к ТС «новой аэромобильности» и рекомендации по их устранению. Этот обзор не претендует на полноту, но содержит ссылки на материалы, в которых можно найти поддержку некоторых утверждений.

При расчете шума обычно следуют парадигме «источник – воздушный тракт – приемник», в которой шум, генерируемый источником, распространяется через атмосферу к приемнику. Вследствие уникальной природы источников шума транспортных средств «новой аэромобильности» им уделяют большое внимание.

Источники шума. Шум источника применительно к ТС «новой аэромобильности» отличается от шума современной винтокрылой машины. Ожидается, что в конструкции ВС новой категории для вертикального подъема будет использоваться большее количество несущих винтов, а не один или два, как на обычных вертолетах и конвертопланах. В отличие от обычных винтокрылых летательных аппаратов, некоторые транспортные средства «новой аэромобильности» могут иметь воздушные винты, работающие с переменной частотой вращения, более низкой окружной скоростью, и иметь движители разного назначения (например, толкающий воздушный винт для полета вперед в сочетании с несущими винтами для вертикального полета). Все это повлияет на частотный состав и характер изменения шума во времени. Ожидается, что взаимодействие между несущими винтами и компонентами планера также изменит характер шума. Так, источником шума может быть взаимодейст-

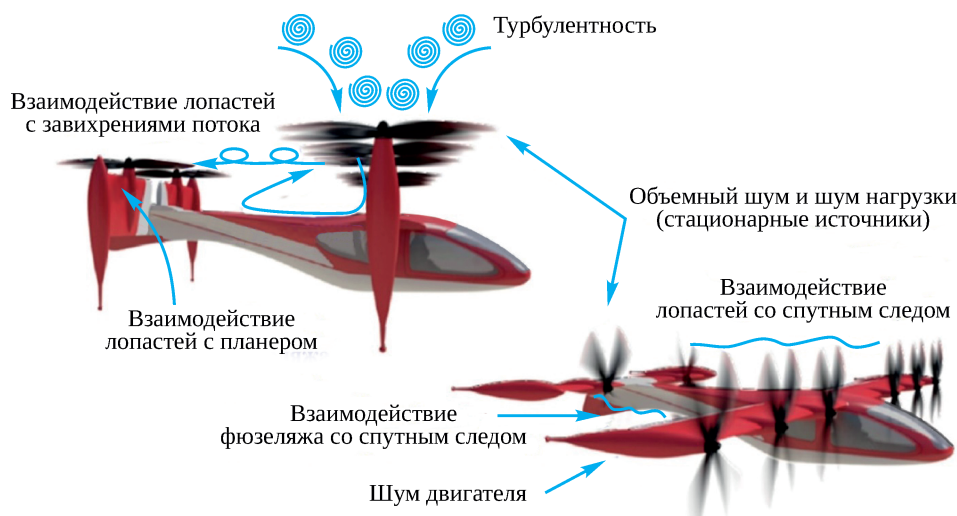


Рис. 5. Некоторые потенциальные источники шума транспортных средств «новой аэромобильности» [2]

вие «лопасть – концевой вихрь», «лопасть – планер», «фюзеляж – спутный след» и постоянная нагрузка несущего винта (рис. 5). Возможны многие другие источники шума, например, роторные пары в соосной конфигурации могут создавать межроторные интерференции, а закапотированные роторы будут взаимодействовать с опорными конструкциями (лопатками статора, силовыми стойками и т.д.).

У обычных винтокрылых ЛА шум *взаимодействия лопастей с концевыми вихрями* (blade-vortex interaction, BVI) (из-за их расположения в одной плоскости) может доминировать в горизонтальном полете и, как правило, преобладать при посадке. Для транспортных средств «новой аэромобильности» шум BVI возможен при вертикальном взлете или на переходном режиме и он будет доминирующим. В крейсерском полете шум взаимодействия лопастей с вихрями может присутствовать, но в меньшей степени. Однако некоторые конфигурации могут иметь задние толкающие винты, на которые влияет струя, сходящая с расположенных впереди них винтов. В традиционных винтокрылых ЛА *взаимодействие лопастей с планером* (blade-airframe interaction, BAI) обычно является менее значимым источником шума и больше влияет на балансировку транспортного средства, поскольку несущие винты, как правило, располагаются не близко к планеру. Во многих транспортных средствах «новой аэромобильности» несущие винты и пропеллеры могут располагаться близко к крылу – как на передней, так и на задней кромке. Эта близость влияет на поле течения на крыле, вызывая нестационарную нагрузку на частоте следования лопасти (BPF), что делает само крыло дополнительным источником шума. Поле потока за крылом, имеющее периодическую структуру, увеличивает нестационарную нагрузку на ротор (также источник шума). Те же эффекты взаимодействия лопастей с планером могут возникать, если на крейсерском режиме лопасти винта расположены рядом с фюзеляжем, например в транспортных средствах, подобных конвертоплану. Если несущие винты находятся за крылом или фюзеляжем, то они поглощают след от крыла или фюзеляжа, увеличивая шум нестационарной нагрузки от несущего винта, что приводит к шуму *взаимодействия спутных следов с фюзеляжем* (fuselage-wake interaction, FWI). Ожидается, что из-за количества несущих винтов и их размещения для многих предлагаемых транспортных средств «новой аэромобильности» взаимодействия типа BAI и FWI будут более важными источниками шума, чем для обычных винтокрылых машин.

Вероятно, что из-за более низкой окружной скорости несущего винта и возможного *взаимодействия лопасти и спутного следа* (blade-wake interaction, BWI) от нескольких несущих винтов, находящихся близко друг к другу, широкополосный шум будет гораздо более важным для

транспортных средств новой категории, чем для обычных винтокрылых ЛА. Ожидаемый широкополосный шум включает в себя собственный шум роторов (каждого отдельно), шум BWI и шум *взаимодействия с атмосферной турбулентностью* (turbulence ingestion noise, TIN).

Винты, скорее всего, будут приводиться в движение электродвигателями и питаться либо от аккумуляторов, либо от гибридно-электрических систем. Электродвигатели, приводящие в движение несущие винты, могут быть дополнительным источником шума для летательных аппаратов новой категории, который обычно отсутствует в традиционных винтокрылых ВС. Гибридно-электрические системы могут включать в себя вспомогательные силовые установки или турбогенераторы. Эти устройства также будут иметь уникальные акустические характеристики.

Распространение шума. Физикой распространения шум транспортных средств «новой аэромобильности» не отличается от других шумов. Однако условия эксплуатации таких ВС, не определенные четко в настоящее время, скорее всего, будут включать вертипорты и городские районы, поэтому они имеют больше общего с условиями эксплуатации вертолетов, чем дозвуковых реактивных самолетов вблизи аэропортов. Сила и направление ветра и атмосферные условия в городе влияют не только на летные характеристики воздушных судов UAM, но и на распространение звука. Предполагается, что летательные аппараты, которые будут вводить в эксплуатацию в ближайшее время, будут взлетать и приземляться в необычных условиях, таких как стоянки и крыши. Будущие вертипорты могут сильно отличаться от инфраструктуры, необходимой для самолетов, которые будут введены в эксплуатацию в ближайшем будущем, и от существующих вертодромов. Эти вертипорты, вероятно, будут иметь широкий спектр конфигураций и включать в себя отражающие конструкции (например, здания).

Шум в салоне летательного аппарата. Внутренний шум в кабине ТС «новой аэромобильности» может стать проблемой для пассажиров, лишив их комфорта. Уровни шума будут зависеть от конкретного ЛА и от того, какие средства можно использовать для уменьшения амплитуды звука. Ожидается, что доминирующие источники шума, влияющие на шум в кабине ЛА новой категории, будут отличаться от характерных для обычной винтокрылой машины. В их число, кроме источников внешнего звукового излучения, входят источники структурного шума, такие как электродвигатели и гибридные генераторы, которые могут быть основными источниками внутреннего шума из-за их близости к пассажирам. В некоторых ТС «новой аэромобильности» может использоваться редуктор, который является основным источником шума в салоне обычных винтокрылых машин.

Планирование малошумных полетов. Конструкции, разработанные с учетом акустических характеристик, и внедрение технологий шумоподавления на транспортном средстве были успешными в снижении авиационного шума в источнике. Другим способом снижения шума, воспринимаемого на земле, является управление режимами полета и оптимизация траектории. Например, общей для вертолетов является рекомендация взлетать с высокой скоростью набора высоты и поддерживать большую высоту во время крейсерского полета, чтобы максимизировать расстояние от источника звука до приемника. Подход может быть и более сложным, так как в некоторых случаях усиливается BVI-взаимодействие, что может привести к значительному увеличению как уровня шума, так и пульсаций звукового давления, которые определяют качественную характеристику звука, увеличивая его воздействие на человека. Несколько попыток показали, что во время захода на посадку можно добиться значительного снижения шума, более чем на 6 дБ, используя замедление и меняя угол траектории полета [12].

Оптимизацию режимов полета с точки зрения акустики предпочтительно проводить для каждого конкретного транспортного средства (как минимум для каждого типа транспортных средств), что может потребовать значительного времени летных испытаний и моделирования для определения соответствующих процедур. Было проведено несколько летных испытаний с участием многих типов вертолетов, которые были направлены на изучение методов снижения шума во время захода на посадку и маневров, а также определение общих процедур для испытываемых транспортных средств [13; 14]. В помощь пилотам рабочая группа Международной вертолетной ассоциации опубликовала общие рекомендации и информацию о процедурах снижения шума, призванных свести к минимуму акустическое воздействие на окружающую среду [11].

Задачи расчета шума. Наряду с показателями, обычно используемыми при сертификации по шуму и оценке шума в населенном пункте, для транспортных средств «новой аэромобильности» потребуется расчет альтернативных показателей, например изменяющейся во времени шумности, используемой для прогнозирования, что, вероятно, потребует создания альтернативного или расширения существующего набора расчетных методик. Для поддержки исследований, разработки и эксплуатации ТС «новой аэромобильности» были выработаны рекомендации.

Методы прогнозирования шума, разработанные в первую очередь для крупных коммерческих воздушных

судов и используемые в последнее время для оценки шума винтокрылых машин, не полностью подходят для проектирования транспортных средств «новой аэромобильности» и разработки технологий снижения шума. Рекомендуется дальнейшее развитие методов прогнозирования шума применительно к ТС «новой аэромобильности» и предоставление их разработчикам.

Внедрение новых конфигураций ЛА, использующих несколько несущих винтов с потенциально разной скоростью вращения, не только создает апериодический шум, но и позволяет одному и тому же транспортному средству выполнять определенные действия в полете несколькими способами благодаря избыточным средствам управления. В таких случаях существующие методы модификации конструкции транспортного средства (включая варианты установки элементов) и последующего проведения акустического анализа неадекватны. Для работы с источниками апериодического шума рекомендуется провести исследование, чтобы найти предпочтительные способы модификации конструкции ЛА для снижения уровня шума.

Многие существующие модели шума источника, в том числе разрабатываемые в настоящее время, не прошли полную валидацию применительно к ТС «новой аэромобильности». Кроме того, для прогнозирования необходимо знать относительные амплитуды шума доминирующих источников для типичных конфигураций транспортных средств во всем рабочем диапазоне. Прогнозные модели шума источников с самой высокой амплитудой рекомендуется подтверждать экспериментальными данными, полученными при испытаниях изолированных узлов и узлов в составе общей конструкции, а также дополнять их данными летных испытаний для лучшего понимания изменения акустических характеристик в реальных условиях эксплуатации, особенно в нестационарных условиях (например, при маневрах и на переходных режимах). Документация, содержащая некоторые или все эти данные, должна быть общедоступной, как это было сделано, например, на семинарах Американского института аэронавтики и астронавтики (AIAA) «Эталонные задачи для расчетов шума планера» (Benchmark Problems for Airframe Noise Computations) [15].

Для изучения восприятия человеком шума ЛА новой категории, особенно в отсутствие записей шума полетов, важно использовать методы аурализации¹⁾. Однако инструменты аурализации, учитывающие нестабильность источника (известно, что она влияет на восприятие звука), недостаточно развиты. Рекомендуется продолжать их разработку, чтобы обеспечить воспроизведение всех режимов полета (включая взлет,

¹⁾ Аурализация – процедура, разработанная для моделирования и имитации акустических явлений, воспроизводимых как звуковое поле в виртуализированном пространстве.

полет вперед, посадку и переходные режимы) для репрезентативного ряда конфигураций транспортных средств.

Существует ряд потенциальных технологий снижения шума, которые хорошо подходят для применения в транспортных средствах «новой аэромобильности», однако многие из них продемонстрированы лишь в лабораторных условиях и еще не доработаны. Рекомендуется провести специальную работу по совершенствованию наиболее перспективных технологий и изыскать возможности для оценки их эффективности в полете.

Инструменты прогнозирования шума, используемые для исследований и разработки технологий шумоподавления, имеют ограничения в применении на ранних этапах процесса проектирования, обусловленные как требуемыми вычислительными затратами, так и отсутствием необходимых данных для расчета. На всех этапах расчета должна быть обеспечена устойчивость решения задачи. Рекомендуется разработать суррогатные или другие модели уменьшенной размерности, позволяющие быстро определить влияние изменений в конструкции на шум на ранних этапах проектирования, а также полностью реализовать устойчивость решения задачи, чтобы обеспечить оптимизацию конструкции и эксплуатации транспортных средств с низким уровнем шума.

Такой инструмент, как AEDT (aviation environmental design tool), был разработан для оценки шума самолетов вблизи аэропортов. Отсутствие полноценных методов оценки шума ТС «новой аэромобильности» требует при использовании существующих методов вводить ограничения, связанные, например, с траекторией полета. Необходимо создать новые инструменты расчета, учитывающие все ограничения современных методов оценки шума.

Процедуры снижения шума для пилотируемых и беспилотных ТС «новой аэромобильности» трудно обобщить из-за большого разнообразия их концепций. В отсутствие общего руководства производителям рекомендуется работать с соответствующими организациями для разработки руководств по снижению шума конкретных ЛА.

Методические проблемы наземных и летных испытаний

Снижение уровня шума является важным шагом на пути к широкому распространению и признанию использования воздушных судов во всем мире. Наземные и летные испытания сыграли важную роль в изучении механизмов генерации шума самолетами и помогли наилучшим образом реализовать методы его снижения. С началом нового этапа в развитии авиации вполне возможно, что многие из существующих методов и приемов, разработанных для испытаний современных самолетов,

потребуется модифицировать. Ниже обсуждаются основания для проведения акустических испытаний и дана общая оценка методик, распространенных в авиационной отрасли. Определены потенциальные проблемы применения этих методик к ТС «новой аэромобильности», в частности сегмента UAM, а также представлен план разработки стандарта измерений.

Есть много причин, по которым производитель, государство или исследовательская организация могут инициировать акустические испытания. При разработке новых концепций самолетов достоверность инструментов моделирования, используемых для проектирования самолета, часто неизвестна. Испытания проводят для того, чтобы понять, достаточно ли точно эти модели учитывают источники шума, чтобы уверенно их использовать. Данные, полученные в результате испытаний масштабных моделей и отдельных узлов, можно использовать для разработки эмпирических или полуэмпирических методов расчета, которые могут быть более эффективными по сравнению с математическими методами расчета. Испытания, как правило, сначала проводят на модели в аэродинамической трубе или безэховой камере; конструкции высокого уровня готовности, которые в конечном итоге пройдут сертификацию, обычно требуют полномасштабных летных испытаний.

Во время полномасштабных испытаний иногда выявляются непредвиденные или нежелательные источники шума. Требования к испытаниям для диагностики и устранения этих проблем, например к измерениям с фазированной решеткой, значительно сложнее требований к сертификационным испытаниям. Однако из-за высокой стоимости этих более крупных исследований многие самолеты никогда не проходят испытания такого уровня, если только не предвидится несоответствие сертификационным требованиям. Понимание того, как, когда и где шум создается самолетом, имеет решающее значение для того, как работа транспортного средства повлияет на население. Используемые сегодня при сертификации по шуму процедуры летных испытаний были в значительной степени разработаны для оценки шума, производимого отдельными воздушными судами в коммерческих аэропортах и вокруг них. Демонстрация технологий снижения шума ЛА типа городского аэротакси и методов измерения будет способствовать разработке новых стандартов по шуму.

Системы мониторинга шума самолетов в аэропорту и методы измерения, используемые для других видов транспорта, могут оказаться в равной степени полезными и для оценки шума транспортных средств новой категории. Для правильной оценки целесообразности применения таких методов нужны данные измерений шума самих воздушных судов. Также необходимо получить данные о субъективном восприятии общего шума,

что может быть достигнуто с помощью авторитетного жюри, присутствующего на испытаниях, или методами аурализации с использованием данных постобработки.

Рассмотрим несколько наиболее распространенных методов, используемых сегодня как в исследовательских, так и в сертификационных летных испытаниях. Некоторые из этих методов могут оказаться недостаточными для обеспечения широкомасштабной эксплуатации воздушных судов UAM в густонаселенных городах. Ограничения существующей практики также будут рассмотрены ниже.

В настоящее время нормы сертификации по шуму и процедуры измерения определены ИКАО для отдельных категорий воздушных судов [1]. Детали процедур различаются применительно к типу воздушного судна, но общий подход остается одним и тем же. Воздушное судно летит в контролируемых условиях (только взлет, только пролет или взлет, заход на посадку и пролет) над одним или несколькими микрофонами, расположенными на высоте 1,2 м над землей, за исключением случаев, которые будут рассмотрены ниже. Акустические сигналы преобразуются в определенные показатели уровня шума, их сравнивают с ограничениями по шуму для категорий, и определяют соответствие воздушного судна стандарту. Существующие показатели и процедуры сертификации по шуму [1], которые могут применяться к воздушным судам UAM, приведены в табл. 2.

Процедуры сертификации по шуму для ВС с поворотными несущими винтами (конвертопланов), возможно, наиболее актуальны в отношении ЛА типа городского аэротакси, поскольку есть некоторое сходство между дополнительными степенями свободы, которыми обладает конвертоплан и будут обладать ВС сегмента UAM. Сертификацию конвертопланов проводят с использованием процедур захода на посадку, взлета и пролета, имеющих большое сходство с процедурами сертификации вертолетов. Однако конвертоплан должен

работать в режиме вертикального взлета и посадки/переходном режиме, когда угол поворотной гондолы удерживается в положении, наиболее близком к полному углу гондолы, сертифицированному для нулевой воздушной скорости. Это приведет к созданию шума, сильно отличающегося по характеру и, вероятно, более интенсивного, чем тот, что имел бы место в случае эксплуатации городского такси в «самолетном режиме».

Измерения шума при пролете, аналогичные описанным выше, чаще всего служат основой для построения зависимости «шум – мощность – расстояние» (NPD) для конкретных транспортных средств в соответствии со стандартом SAE AIR 1845 [16], техническим руководством AEDT [17] и другими документами, например [18]. Данные NPD также могут быть получены непосредственно из комплексного анализа шума [19].

В некоторых методах для измерений используется система микрофонов, расположенных в приземной плоскости (как правило, монтируемых заподлицо с пластиной или повернутых к ней). В испытаниях самолетов часто применяют микрофонные фазированные решетки для идентификации и разделения источников шума с использованием методов векторно-фазового анализа, в то время как при измерениях шума винтокрылых машин часто используют решетки, распределенные на тысячах квадратных метров. Методы обработки шума винтокрылых машин могут учитывать обратное распространение измеренного у земли шума в условиях равномерного пролета для отображения направленности шума на полусфере, окружающей транспортное средство [20]. Полусферы источника звука в зависимости от условий полета затем можно использовать в качестве базы данных для эмпирических или полуэмпирических моделей шума. Нестационарные условия испытаний, например маневры или любой пролет, связанный с ускорением, часто характеризуют по распределению шума по поверхности земли с использованием соответствующих показателей.

Табл. 2. Показатели уровня шума и процедуры сертификации, применимые к транспортным средствам «городской аэромобильности» (UAM)

Глава стандарта ИКАО [1]	Показатель уровня шума	Процедура сертификации
Глава 8. Вертолеты	EPNL	Шум измеряется с помощью микрофонов на высоте 1,2 м от поверхности земли в трех положениях (центр и ± 150 м), ориентированных перпендикулярно траектории полета, для трех предписанных условий полета: заход на посадку, взлет, пролет
Глава 10. Винтовые самолеты массой не более 8618 кг	L_{ASmax}	Шум измеряется с помощью одного инверсного наземного микрофона для предписанных условий взлета
Глава 11. Вертолеты с максимальной сертифицированной взлетной массой не более 3175 кг	L_{AE}	Шум измеряется с помощью одного микрофона на высоте 1,2 м от поверхности земли для предписанных условий набора высоты
Глава 13. Воздушные суда с поворотными несущими винтами	EPNL	Шум измеряется с помощью микрофонов на высоте 1,2 м от поверхности земли в тех же местах, что указаны для главы 8

Примечание. EPNL – эффективный уровень воспринимаемого шума, EPNдБ. L_{ASmax} – максимальный скорректированный по шкале А уровень звука с учетом медленной реакции, дБ(А). L_{AE} – уровень звукового воздействия (SEL), дБ SEL.

Измерения в полете также проводятся с использованием бесшумных самолетов наблюдения, установленных на вертолете зондов или даже воздушного шара. Широко доступна информация о многочисленных исследованиях, в ходе которых проводятся испытания узлов и моделей на земле и в аэродинамической трубе с акустической облицовкой.

Любые акустические измерения при летных испытаниях, в рамках сертификации или исследования, должны учитывать передовой опыт и ограничения, связанные с условиями окружающей среды. Площадка для проведения испытаний должна представлять собой относительно ровную местность, где отсутствуют сильно поглощающие звук материалы (например, густая листва, высокая трава) или большие препятствия (например, здания). Уровень окружающего шума должен быть относительно низким, а тональная составляющая – незначительной (особенно для винтовых самолетов и винтокрылых ЛА). Допустимые атмосферные условия указаны в стандартах, при этом они несколько различаются для разных категорий самолетов. Уровень звукового давления должен быть скорректирован с учетом отклонений в условиях окружающей среды.

Положение ЛА определяется методом масштабного фотографирования или чаще всего с помощью глобальной системы позиционирования (GPS). Бортовой контроль характеристик ЛА и положения органов управления часто производится, но не всегда необходим.

С появлением транспортных средств «новой аэромобильности» может потребоваться адаптация или модификация существующих методологий сертификации и исследований. Ниже описан ряд проблем, связанных с применением современных методов при наземных и летных исследованиях шума ЛА новой категории.

Соотношение значимости источников шума. В настоящее время рассматривается множество конфигураций ТС «новой аэромобильности». Каждое из этих воздушных судов может иметь свои доминирующие источники шума, отличные от тех, что имеют современные самолеты и винтокрылые машины. Хотя традиционные источники шума также будут присутствовать: для многих конфигураций ЛА вертикального взлета и посадки будет характерен шум взаимодействия «лопасть – вихрь» (BVI), шум пограничного слоя и шум редуктора, а для ЛА, подобных современным самолетам, – шум планера, вентилятора и, возможно, даже шум реактивной струи. Ожидается появление новых источников авиационного шума, связанных с электрическими и гибридными силовыми установками, распределенными силовыми установками и многодвигательными системами.

Взаимодействия «ротор – ротор» и «роторы – планер» у ЛА с распределенной силовой установкой будут отличаться от таковых у современных самолетов: несколько

независимых винтов приводят к появлению множества гармоник частоты вращения и взаимодействию нескольких тонов, которые могут влиять на структурный шум и даже вызывать изменение его амплитуды во времени, или биения. Шум взаимодействия закапотированных винтов, который ранее считали незначительным, теперь может стать доминирующим.

Методы измерения для идентификации источника, анализа и количественной оценки шума должны учитывать традиционные и нетрадиционные источники авиационного шума. Соотношение значимости всех источников может непрерывно меняться на протяжении всего полета в отличие от традиционных вертолетов и самолетов.

Сложные условия эксплуатации. В существующей практике при количественной оценке шума часто не проводят измерений в ближнем и среднем поле. Более сложные условия эксплуатации ТС «новой аэромобильности» сделают такие измерения необходимыми, так как они будут учитывать влияние рассеяния и экранирования. Измерения в ближнем и среднем поле могут выполняться там, где рециркуляция потока будет оказывать негативное влияние на датчики измерения шума. Стандартизация измерений будет затруднена из-за большого разнообразия размеров и конфигураций вертипортов. Особенности архитектуры городских районов могут вызывать такие акустические явления, как отражение, реверберацию и дифракцию. Измерения имеют решающее значение для разработки и проверки методов, учитывающих сложное распространение звука в таких условиях. На всех участках полета могут иметь место большие колебания как среднего, так и текущего уровня фонового шума, и эти изменения должны быть определены количественно и учтены при разработке процедур измерения. В этом отношении может быть полезной стандартная процедура определения уровня окружающего шума, характерного для конкретного городского ландшафта [21; 22].

Значительное изменение характеристик по времени. У многих транспортных средств «новой аэромобильности» источники шума, входящие в состав силовой установки, могут подвергаться влиянию значительно изменяющихся параметров окружающей среды во время взлета, посадки и пролета при выдерживании заданного маршрута или противодействии атмосферной турбулентности. Конфигурация некоторых воздушных судов, вероятно, будет меняться на относительно малой высоте, где существует проблема воздействия шума на население. Кроме того, может использоваться широкий диапазон траекторий взлета и посадки, на которых временные характеристики шума могут сильно различаться. Процедуры измерения должны быть разработаны для регистрации шума в соответствующем диапазоне режимов эксплуатации.

Отклонение от нормальных условий эксплуатации.

Одной из вероятных проблем при разработке процедур испытаний для ТС «новой аэромобильности» является значительное различие рабочих характеристик некоторых конфигураций. Обычные самолеты и вертолеты представлены ограниченным количеством вариантов, поэтому оценка их шума относительно проста. Некоторые ЛА новой категории во время взлета/захода на посадку могут подниматься/снижаться почти вертикально (как это делают многие малые БПЛА), переходя в прямой полет или выходя из него, в то время как другие могут использовать более традиционное низкоскоростное руление, набор высоты, снижение по умеренной глиссаде.

Для любой конструкции ТС «новой аэромобильности» балансировка, вероятно, будет иметь гораздо большее значение, чем для обычного современного самолета. Переходный режим может оказаться наиболее сложным для измерений из-за зависящей от времени характеристики шума, обусловленного изменением положения движителей и систем механизации для управления подъемной силой. В зависимости от скорости перехода к горизонтальному полету возникающий при этом шум может существенно отличаться от шума при пролете на большей скорости. Таким образом, без большого количества наземных микрофонов (или методических допущений) измерение шума на переходном режиме окажется затруднительным. Шум при висении может быть очень нестабильным по уровню, что может иметь значение для транспортных средств «новой аэромобильности». Следует изучить воспроизводимость характеристик шума на этом режиме.

Наконец, ЛА новой категории должны будут некоторое время работать на земле в районе населенных пунктов, некоторые непродолжительно (запуск и взлет), другие значительно дольше. Если будет признано, что шум ЛА на земле вносит значительный вклад в шум окружающей среды, то потребуются его учитывать.

Требования к направленности излучения шума.

Большую часть акустических испытаний обычных самолетов проводят с использованием наземных микрофонных решеток. Для современных вертолетов и самолетов, эксплуатируемых в аэропортах и вокруг них, это целесообразно, однако для ТС «новой аэромобильности», условия эксплуатации которых предполагают в том числе городскую среду, могут потребоваться дополнительные измерения в точках, расположенных над воздушным судном, для определения значимости шума, излучаемого вверх. Примером являются акустические испытания самолетов и вертолетов, в которых ВС пролетает рядом с вышкой или воздушным шаром, оснащенным микрофонами. Для таких испытаний можно использовать и планер, как это было при измерениях

шума вертолета в полете и при оценке звукового удара. В долгосрочной перспективе такие измерения могут потребоваться для оценки шума ТС «новой аэромобильности» при их приближении к густонаселенным городским районам и вылете из них.

Изменчивость условий полета. Для некоторых конфигураций ЛА новой категории в сравнении с существующими ВС можно ожидать снижения повторяемости результатов измерений при работе на одном и том же номинальном режиме, если только испытания не проводить в хорошо контролируемых условиях, где систематически оценивается воздействие возмущений, например порывов ветра. Многие концепции транспортных средств «новой аэромобильности» предполагают их малую нагруженность, что сделает их более чувствительными к небольшим атмосферным возмущениям и потребует быстрого и почти постоянного регулирования работы силовой установки. У многороторных систем, управляемых посредством изменения частоты вращения, пиковый уровень шума в безветренную погоду и даже при слабом ветре может сильно различаться. При этом шум источника и изменение его направленности, связанное с порывами ветра, могут быть более выраженными. Это, вероятно, потребует повторных испытаний, более строгих допусков на управление самолетом, более точных приборов управления полетом на борту и, возможно, более продолжительной записи данных.

Работа на наиболее шумном режиме. У многих транспортных средств шум достигает наибольшего уровня во время взлета (при максимальном весе, поскольку двигатели должны работать на полной или почти полной мощности) и при заходе на посадку. Для винтокрылых аппаратов глиссада в 6° была предписана в главе 13 стандарта ИКАО [1] для оценки максимального шума взаимодействия «лопасть – вихрь» во время захода на посадку. Шум взаимодействия типа BVI является узконаправленным и доминирует при определенных условиях (сильно зависит от угла траектории полета), но его можно уменьшить, отрегулировав скорость снижения и скорость полета. Для некоторых конфигураций ТС «новой аэромобильности» наиболее шумный режим трудно спрогнозировать. Вполне вероятно, что методика испытаний ЛА новой категории будет значительно более обширной, чем методика испытаний обычных самолетов, особенно на ранних стадиях разработки.

Условия, выбранные для акустических измерений, должны отражать условия эксплуатации конкретного типа ВС. Как минимум следует рассмотреть полный план полета, включая взлет, крейсерский полет, заход на посадку, посадку, а также руление у земли и наземные операции, – каждый из этапов полета должен включать наиболее распространенные процедуры для данного транспортного средства. Этот план полета также должен

соответствовать руководству по летной эксплуатации производителя или предварительно запрограммированным маршрутам. Особые трудности могут возникнуть при определении репрезентативных условий для транспортных средств с избыточными степенями свободы. Исследовательские и сертификационные испытания по шуму потребуют более глубокого понимания и четкого определения законов управления полетами, так как необходимо, чтобы в ходе дальнейшей эксплуатации была обеспечена неизменность используемых процедур для недопущения возрастания шума ВС. С учетом того, что новая область авиации будет развиваться быстрыми темпами, в какой-то момент могут потребоваться серьезные изменения в эксплуатации конкретных воздушных судов.

Оптимизация методики определения шума. Поскольку в концепциях транспортных средств «новой аэромобильности» используется большое количество вариантов силовых установок с разным числом двигателей, измерение шума во всех возможных условиях неосуществимо. Результаты испытаний могут повысить точность расчетов, при этом необходимо сохранить устойчивость решения задачи относительно параметров, используемых в качестве основных исходных данных для расчета, в числе которых окружная скорость, относительная поступь винта, тяга. В идеале шум, создаваемый этими ВС, можно описывать применительно к типу транспортного средства. Процедуры измерений должны быть разработаны таким образом, чтобы можно было планировать маршрут, оптимальный по шуму, т.е. минимизировать его в городском районе.

Автономная эксплуатация. Многие концепции ТС «новой аэромобильности» предполагают определенный уровень автономности в эксплуатации, что также важно рассмотреть с точки зрения влияния на шум. Могут потребоваться дополнительные приборы на борту, чтобы получать информацию о состоянии воздушного судна. Во многих случаях оборудование для автономной работы уже предполагает получение такой информации.

В заключение подчеркнем следующее. Некоторые используемые в авиационной отрасли методы оценки шума следует рассмотреть с целью применения в ближайшей перспективе в испытаниях, а в дальнейшем и в сертификации. Все акустические испытания ТС «новой аэромобильности» настоятельно рекомендуется [2] проводить при ограничениях параметров окружающей среды, таких как температура, влажность окружающего воздуха и др., описанных в стандарте ИКАО [1].

Определение самого шумного режима полета для воздушных судов новой категории (оснащенных автоматической системой переменного шумоподавления [23]) будет сложной задачей из-за большого разнообразия конфигураций ЛА. Необходимо определить соот-

ветствующие методы оценки шума и его зависимости от режима работы транспортного средства, и, вероятно, потребуются обширные испытания, которые позволят улучшить методы расчета с использованием проверенных моделей.

Используя только сегодняшние методы испытаний и процедуры сертификации, невозможно будет дать полную характеристику акустического воздействия конкретного транспортного средства «новой аэромобильности». Сертификационные измерения шума вертолетов часто оказывались недостаточными из-за малого количества микрофонов и режимов измерений, чтобы их использовать в качестве входных данных для моделей прогнозирования шума. Таким образом, для разработки процедур сертификации и стандартов необходима полная оценка ожидаемых летных характеристик и эксплуатационных условий ЛА новой категории.

При разработке новых подходов к измерениям необходимо тесное сотрудничество между заинтересованными сторонами (производителями, исследователями и сертифицирующими органами), что особенно важно в связи с быстрым ростом новой отрасли.

Из-за необходимости учета шума, распространяющегося в горизонтальной плоскости и над воздушным судном, необходимо исследовать соответствующие способы и средства измерений. Такие измерения должны исключить влияние отражения звука от земли.

В течение многих десятилетий в сертификационных испытаниях обычно использовали 1/4-дюймовые микрофоны, установленные на штативе. Такие измерения более чувствительны к местным наземным условиям, особенно к авиационному шуму с преобладающими тонами. Избежать таких помех можно используя микрофоны, установленные заподлицо с закрепленной на земле пластиной или над ней в перевернутом положении. Полученные таким образом данные позволят уточнить расчетные модели шума.

Особенности акустических характеристик летательных аппаратов новой категории

Измерения шума показывают, что электрические самолеты могут быть менее шумными, чем самолеты с традиционной силовой установкой. И напротив, многороторные летательные аппараты eVTOL, которые используют управляемую компьютером дифференциальную тягу для маневрирования, привлекли внимание общественности к характерному шуму, который сравнивают с шумом пчелиного роя, возможно, из-за присутствия нескольких динамических, негармонических тонов.

На спектрограммах шума квадрокоптеров наблюдаются почти когерентные тональные составляющие, генерируемые близко расположенными винтами с разной

окружной скоростью. Спектральная характеристика изменяется во времени. Другая особенность заключается в том, что каждый из винтов генерирует отдельный тон, близкий по частоте к другим, но заметно отличающийся другими характеристиками, причем задняя пара винтов генерирует тоны несколько более высокой частоты, чем передняя пара, из-за необходимости создания дифференциальной тяги для движения вперед.

Кроме того, при некоторых коротких перелетах ТС «новой аэромобильности», таких как доставка посылок или проверка инфраструктуры, могут быть сведены к минимуму или даже к нулю любые положительные эффекты поглощения высокочастотного звука в атмосфере. Близость расположения ЛА новой категории к наблюдателю сама по себе может быть раздражающим фактором.

Долгосрочные операции, связанные с продолжительным висением, когда ВС, например, выполняет локальную съемку (оценка погодных условий, интенсивности наземного движения, популяции насекомых, картографирование и т.д.) или наблюдение (съемка автомобильных номерных знаков, перепись, поиск людей и т.д.), могут также создавать шум с новыми характеристиками, к которым население не привыкло. Шум «роя» БПЛА, возникающий в результате синхронизированной работы нескольких летательных аппаратов одновременно, также может создавать проблемы, тем более что характеристики такого шума являются гораздо менее изученными.

Для характеристики шума в населенных пунктах традиционно используют такие показатели, как скорректированные по шкале А уровни шума. Для сертификации

воздушных судов общего применения используют три показателя (в зависимости от типа воздушного судна):

- L_{ASmax} – максимальный скорректированный по шкале А уровень звука с учетом медленной реакции (для малых винтовых самолетов массой не более 8618 кг);
- L_{AE} – скорректированный по шкале А уровень звукового воздействия (SEL) (для небольших вертолетов массой не более 3175 кг);
- EPNL – эффективный уровень воспринимаемого шума (для любого реактивного самолета, большого винтового самолета, вертолета или конвертоплана).

Спектры шума ТС «новой аэромобильности» содержат значительную энергию в области частот выше 10 кГц (рис. 6) из-за слабого затухания в атмосфере, поскольку расстояние от источника звука до наблюдателя может быть очень малым. Показатель EPNL, используемый для обычных типов воздушных судов, учитывает шум в диапазоне от 50 Гц до 10 кГц, исключая таким образом область звуковой энергии, которая может оказаться значительной для ЛА новой категории. Для адаптации этого показателя к полосам более высоких частот потребуется изменить метод его расчета. Уровень звукового воздействия (SEL), скорректированный по шкале А или с помощью других частотных поправок, может соответствовать области более высоких частот, потому что для каждой поправочной кривой отклик в зависимости от частоты выражается в виде непрерывной функции, тогда как частотные зависимости PNL и поправки на тональность, используемые для получения EPNL, определены в виде констант только для ранее определенного диапазона частот.

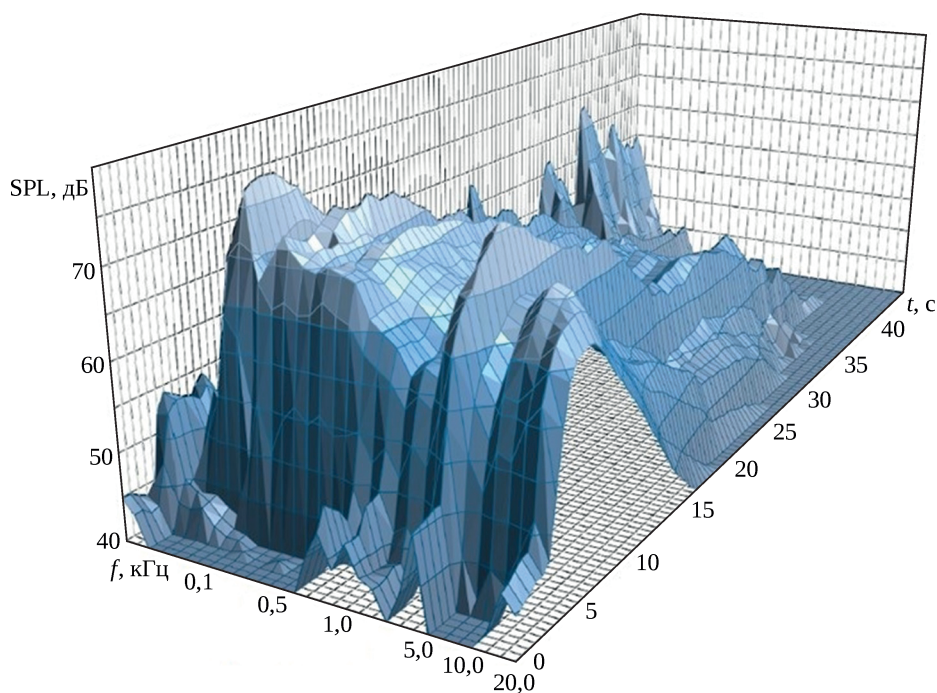


Рис. 6. Третьооктавный спектр мультикоптера при вертикальном взлете [24]

Кроме того, предполагается, что большая часть акустической энергии таких ЛА, особенно с электрическим приводом, в том числе мультикоптеров, может быть представлена в виде множества быстро изменяющихся во времени тональных составляющих, которые, вероятно, будут иметь большое значение для оценки реакции человека. Ни один из параметров, используемых в настоящее время для сертификации воздушных судов по шуму, не учитывает раздражающее воздействие, связанное с наличием нескольких тонов.

Небольшие расстояния между источником и наблюдателем в городских или пригородных условиях в сочетании с почти мгновенным маневрированием и отсутствием людей на борту позволяют предположить, что будут наблюдаться быстрые колебания шума во времени, которые, вероятно, не удастся зафиксировать при использовании текущих показателей уровня шума. Будущие процедуры сертификации по шуму ТС «новой аэромобильности», а также количественная оценка воздействия их шума на население, вероятно, будут основаны на новых показателях, которые обеспечат более точное разрешение как по времени, так и по частоте, а также возможность отслеживать и количественно определять несколько тонов одновременно.

Прошлые исследования восприятия человеком шума показывают, что даже при введении поправки на тот же уровень шума по шкале А акустические сигналы от БПЛА могут быть более раздражающими, чем сигналы от других видов транспорта, таких как легковые и грузовые автомобили, мотоциклы, поезда и обычные самолеты.

Заключение

В настоящее время в мировую систему воздушного транспорта встраивается многочисленная категория летательных аппаратов, условно называемая средствами «новой аэромобильности». Во многих странах, в том числе в США, Китае, Японии, эта категория ЛА признана быстро развивающейся частью авиационного парка. Ее развитие потребует создания «бесшумных» ВС для выполнения операций вблизи вертипортов.

В России известны производители некоторых типов транспортных средств «новой аэромобильности», однако отсутствует национальная программа, определяющая развитие не только производства, но и инфраструктуры «новой аэромобильности», без которой невозможно решить вопросы эксплуатации, включая прокладку воздушных трасс внутри городов и в прилегающих районах, строительство вертипортов. ТС «новой аэромобильности» призваны выполнять широкий спектр функций, например доставка почты и других грузов, работа в качестве городского такси. С целью ликвидации отставания российское правительство в начале текущего года

образовало комиссию по вопросам развития беспилотных авиационных систем [25]. Основной задачей комиссии является подготовка согласованных предложений по реализации государственной политики в сфере развития беспилотных авиационных систем и решению задач, связанных в том числе со следующей деятельностью:

- развитие применения беспилотных авиационных систем во взаимосвязи с транспортной системой и иными секторами экономики;
- организация разработки, производства, сертификации и эксплуатации беспилотных авиационных систем, средств защиты от их противоправного применения;
- обеспечение интеграции беспилотных авиационных систем в воздушное пространство;
- обеспечение доступности услуг в сфере применения беспилотных авиационных систем для юридических и физических лиц;
- развитие инфраструктуры, необходимой для эксплуатации таких систем;
- определение единой государственной политики развития беспилотных авиационных систем;
- повышение эффективности использования воздушного пространства, аэродромной и другой логистической инфраструктуры.

ИКАО ведет разработку стандартов («Стандарты и рекомендуемая практика»), в частности по шуму, для этой категории летательных аппаратов. Анализ показал, что стандарты и показатели, используемые сегодня для дозвуковых самолетов и вертолетов, неприменимы к ТС «новой аэромобильности» из-за существенных различий в конструкции ЛА, организации движения и, как следствие, в воздействии на население. Например, гибридно-электрические системы могут включать в себя вспомогательные силовые установки или турбогенераторы с уникальными акустическими характеристиками и наиболее интенсивные тональные составляющие шума будут выходить за рамки частотного диапазона, регламентируемого существующими сертификационными процедурами. Поэтому при разработке стандартов для ЛА новой категории следует принимать во внимание особенности их характеристик и особенности эксплуатации.

Ниже приведен список актуальных для России вопросов, требующих выработки согласованной позиции российской авиационной промышленности и науки.

– Изучение возможности интеграции ТС «новой аэромобильности» в транспортную систему России. Первым шагом в этом направлении может быть разработка базы данных по производимым сегодня в России летательным аппаратам, которые можно отнести к новой категории.

– Интеграция потребует изменения внутригородской структуры, в частности строительства вертипор-

тов, которые будут служить местными транспортными узлами для пассажиров и грузов.

– Установка ограничений и уменьшение воздействия авиационного шума в районах населенных пунктов, которые ранее не подвергались воздействию авиационного шума. Предполагается, что воздушные суда новой категории будут выполнять многочисленные короткие полеты на относительно малой высоте.

– При разработке стандартов ИКАО по шуму для ТС «новой аэромобильности» не удастся использовать действующие стандарты по шуму для реактивных и винтовых самолетов без их существенной адаптации.

– Для летательных аппаратов новой категории необходимо разработать новые методы расчета, оценки шума и технологии его снижения, аналогичные по качеству используемым для обычных транспортных средств.

Ввиду новизны темы, которой посвящена статья, и перспективы разработки нормативных материалов, которые будут содержать элементы новой терминологии, публикуем словарь используемых иностранных акронимов.

BAI – blade-airframe interaction – взаимодействие лопастей с планером

BVI – blade-vortex interaction – взаимодействие лопастей с вихревой неравномерностью

BWI – blade-wake interaction – взаимодействие лопастей со следовой неравномерностью

eCTOL – electric conventional takeoff and landing – электрические летательные аппараты горизонтального взлета и посадки

ETA – emerging technology aircraft – категория летательных аппаратов «новая аэромобильность»

eVTOL – electric vertical takeoff and landing – электрические летательные аппараты вертикального взлета и посадки

FWI – fuselage-wake interaction – взаимодействие фюзеляжа со спутным следом

RVLT – revolutionary vertical lift technology – революционная технология вертикального взлета

UAM – urban air mobility – городская аэромобильность

UAS – unmanned aircraft systems – беспилотные летательные аппараты

Литература / References

1. Охрана окружающей среды : прил. 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. Т. 1. Авиационный шум / Международ. организация граждан. авиации. Изд. 8-е. Монреаль : ИКАО, 2017. 262 с. Разд. паг. (Международные стандарты и рекомендуемая практика).
Environmental protection : annex 16 to the Convention on International Civil Aviation. Vol. 1. Aircraft noise. 8th ed. Montreal, ICAO, 2017. 250 p. Pag. var. (International Standards and Recommended Practices).
2. Urban air mobility noise: current practice, gaps, and recommendations / S.A. Rizzi, D.L. Huff, D.D. Boyd et al. ; NASA, Langley Research Center. Hampton, Virginia, 2020. vi, 48 p. NASA/TP-2020-5007433.
3. iStock : website / by Gelly Images. URL: <https://www.istockphoto.com> (accessed: 20.12.2022).
4. AirMobility : website. URL: <http://airmobility.com/> (accessed: 20.12.2022).
5. Airbus : website. URL: <https://www.airbus.com/en> (accessed: 20.12.2022).
6. eVTOL Aircraft Directory // Electric VTOL News / by the Vertical Flight Society. URL: <https://evtol.news/aircraft> (accessed: 20.12.2022).
7. Johnson W., Silva C., Solis E. Concept vehicles for VTOL air taxi operations. 2018. 24 p. (Aeromechanics Design for Transformative Vertical Flight, 16–18 January 2018, San Francisco, California / AHS International).
8. VTOL urban air mobility concept vehicles for technology development / C. Silva and W. Johnson, K.R. Antcliff and M.D. Patterson. 2018. 16 p. (2018 Aviation Technology, Integration, and Operations Conference, June 25–29, 2018, Atlanta, Georgia ; AIAA 2018-3847).
9. Инструктивный материал по сбалансированному подходу к управлению авиационным шумом : утверждено Генеральным секретарем и опубликовано с его санкции / Международная организация гражданской авиации. Изд. 2-е. 2008. 130 с. Разд. паг. Doc 9829, AN/451.
Guidance on the balanced approach to aircraft noise management : approved by the Secretary General and published under his authority / International Civil Aviation Organization. 2nd ed. 2008. 134 p. Pag. var. Doc 9829, AN/451.
10. Assessing community annoyance of helicopter noise / V. Mestre in association with S. Fidell, R.D. Horonjeff, P. Schomer, A. Hastings, B.G. Tabachnick, F.A. Schmitz ; National Academies of Sciences, Engineering, and Medicine. Washington, DC : The National Academies Press, 2017. ix, 135 p. (Airport Cooperative Research Program ; research report 181). URL: <https://doi.org/10.17226/24948> (accessed: 20.12.2022).
11. Fly Neighborly Guide / Helicopter Association International, Fly Neighborly Committee. 3rd ed. Helicopter Association International, 2007. iv, 28 p.

-
12. Acoustic flight testing of a Boeing MD Explorer and a Sikorsky S-76B using a large area microphone array / E.W. Jacobs, J.M. O'Connell, D.A. Conner, Ch.K. Rutledge, M.R. Willson, F. Shigemoto, R.T.N. Chen, G.G. Fleming. 1997. 14 p. (American Helicopter Society Technical Specialists Meeting for Rotorcraft Acoustics and Aerodynamics, Williamsburg, VA, October 28–30, 1997).
 13. Noise abatement flight test data report / M.E. Watts, E. Greenwood, Ch.D. Smith, J.H. Stephenson ; NASA, Langley Research Center. 2019. 729 p. NASA/TM-2019-220264.
 14. Development and validation of generic maneuvering flight noise abatement guidance for helicopters / J.H. Stephenson, M.E. Watts, E. Greenwood, K.A. Pascioni. 2020. 16 p. (76th American Helicopter Society Forum, Virginia Beach, VA, October 6–8, 2020).
 15. Choudhari M., Lockard D. Simulations & measurements of airframe noise: a BANC workshops perspective // Proceedings of NATO STO-MP-AVT-246 Specialists Meeting on Progress and Challenges in Validation Testing for Computational Fluid Dynamics, Avila, Spain, 26–28 September 2016. P. 16-1–16-19. STO-CfP-AVT-246.
 16. Procedure for the calculation of airplane noise in the vicinity of airports : AIR 1845, rev. A / SAE International. Warrendale, PA, 2012. 85 p.
 17. Aviation environmental design tool (AEDT) : version 3c : technical manual : March 2020 / U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. 2020. xv, 454 p. DOT-VNTSC-FAA-20-05.
 18. Fitchburg municipal airport noise measurement study: summary of measurements, data and analysis / C.N. Reherman, C.J. Roof, G.G. Fleming, D.A. Senzig, D.R. Read, C.S.Y. Lee / John A. Volpe National Transportation Systems Center. 2005. 168 p. Pag. var. FAA-AEE-05-01. DOT-VNTSC-FAA-03-09.
 19. Synodinos A.P., Self R.H., Torija A.J. Framework for predicting noise–power–distance curves for novel aircraft designs // Journal of Aircraft. 2018. Vol. 55, no. 2. P. 781–791. URL: <https://doi.org/10.2514/1.C034466> (accessed: 20.12.2022).
 20. Advanced acoustic model technical reference and user manual : SERDP project WP-1304 : user manual / J.A. Page, C. Wilmer, T. Schultz, K.J. Plotkin, J. Czech ; Wyle Laboratories. 2009. x, 198, R-4 p.
 21. Quantities and procedures for description and measurement of environmental sound, Part 1: Basic quantities and definitions : American national standard : ANSI/ASA S12.9-2013/Part 1 (R2018) / Acoustical Society of America. 2018. 29 p.
 22. Quantities and procedures for description and measurement of environmental sound, Part 2: Measurement of long-term, wide-area sound : American national standard : ANSI/ASA S12.9-1992/Part 2 (R2018) / Acoustical Society of America. 2018. 31 p.
 23. Noise reduction systems // Noise standards: Aircraft type and airworthiness certification : advisory circular : date 10/12/2017, initiated by AEE-100, AC No. 36-4D / U.S. Department of Transportation, Federal Aviation Administration. 2017. Section 307 [ETM 3.7]. P. 105–107.
 24. Read D., Roof C. Research to support new entrants to public airspace and the role of aircraft noise certification. 2020. 17 p. (Quiet Drones 2020 : International e-Symposium on UAV/UAS Noise, remote from Paris, 19–21 October 2020 / INCE/Europe).
 25. Правительство Рос. Федерации. О Правительственной комиссии по вопросам развития беспилотных авиационных систем : постановление от 9 февраля 2023 г. № 190, Москва. 8, [1] с.
Pravitel'stvo Rossiiskoi Federatsii. O Pravitel'stvennoi komissii po voprosam razvitiia bescpilotnykh aviatsionnykh system [The Government of the Russian Federation. On the Government Commission for the Development of Unmanned Aircraft Systems]. Decree No. 190 dated February 9, 2023, Moscow. 8, [1] p.

Материалы получены редакцией 09.01.2023