

УДК: 519.711.3:[534.836.2:629.735]

OECD: 02.02.ES

Использование данных системы мониторинга авиационного шума Ecoflight Monitoring при формировании сценария выполнения полетов воздушных судов в целях оценки шумовой обстановки

Картышев М.О.^{1*}, Картышев О.А.², Ардашев И.О.³

¹ Генеральный директор

² К.т.н., заведующий испытательной лабораторией

³ Начальник отдела разработки ПО

^{1,2,3} ООО «Центр экологической безопасности гражданской авиации», г. Москва, РФ

Аннотация

В представленной работе рассмотрены проблемы и пути их решения, связанные с формированием сценария выполнения полетов в районе аэродрома для целей моделирования шумового воздействия на приаэродромной территории и оценки уровней шума на местности при полетах воздушных судов.

Отсутствие единого стандарта, требований и инструмента для формирования набора исходных данных, описывающих параметры функционирования аэродрома, приводит к недостоверной оценке уровней авиационного шума на местности, что является причиной избыточных ограничений на использование земельных участков либо ограничений использования аэродрома в целях соблюдения границ шумовой зоны.

На примере выполнения полетов аэродрома Домодедово описан подход к формированию набора исходных данных в части определения пропорции выполнения полетов по маршрутам следования воздушных судов. На основании данных, зафиксированных системой мониторинга авиационного шума Ecoflight Monitoring представлены результаты исследований влияния полноты сведений сценария эксплуатации аэродрома по учету фактической загрузки маршрутов движения ВС на изменение шумовой обстановки на местности.

Ключевые слова: воздушное судно, акустическое загрязнение, моделирование шума, траектории полета, система мониторинга авиационного шума.

Use of aircraft noise monitoring system Ecoflight Monitoring data to form an aircraft flight scenario in order to assess the noise pollution

Kartyshev M.O.^{1*}, Kartyshev O.A.², Ardashev I.O.³

¹ CEO ² PhD, head of laboratory

³ Head of the department of software development

^{1,2,3} Civil aviation environmental safety center, Moscow, Russia

Abstract

The presented article describes the problems and their possible solutions related to the formation of a flight scenario for the purpose of modeling the aircraft noise impact and assessing the noise levels on the ground during aircraft flights.

The lack of a standard, requirements and tool for generating a set of initial data describing the aerodrome functioning parameters leads to an unreliable assessment of the levels of aircraft noise, and as a consequence excessive restriction on land use or flight restrictions order to comply with the boundaries of the noise zone.

*E-mail: mkartyshev@yandex.ru (Картышев М.О.)

On the example of performing flights at the Domodedovo airport described an approach to the collection of a set of initial data of proportions of flights on aircraft routes. Based on data recorded by the aircraft noise monitoring system Ecoflight Monitoring presented results of studies of the impact of the completeness of information on the actual load of aircraft routes to the noise environment in the area.

Keywords: aircraft, acoustic pollution, noise mapping, noise, flight trajectory, noise monitoring system.

Введение

Оценка воздействия авиационного шума (АШ) является комплексной задачей, предусматривающей с одной стороны исполнение требований в части точности проводимых измерений уровней АШ, а с другой стороны учет частоты возникновения шумового события, обусловленного пролетом воздушного судна (ВС).

Вероятность возникновения шумового события определяется в первую очередь пролеганием одного или нескольких установленных маршрутов выполнения полетов вблизи места проведения оценки и частотой выполнения полетов ВС вдоль данных маршрутов. Для определения эквивалентного уровня шума как для отдельных мест проведения оценки, так и для всех территорий подверженных шумовому воздействию при пролетах ВС, основополагающим параметром, напрямую влияющим на результат, является сценарий выполнения полетов. Данный сценарий может быть сформирован как для отдельной территории относительно которой осуществляются полеты по одному или нескольким маршрутам, так и для всего разнообразия маршрутов вылета и захода на посадку, используемых на аэродроме.

Таким образом, при формировании сценария эксплуатации аэродрома по количеству выполненных полетов, что продиктовано требованиями к установлению седьмой подзоны приаэродромной территории (ПАТ) [1], в том числе необходимо учитывать распределение вероятностей выполнения взлетно-посадочных операций (ВПО) вдоль установленных в аэронавигационном паспорте аэродрома (АНПА) маршрутов за продолжительный период времени.

В настоящей статье показана эффективность от использования достоверных сведений о фактической загрузке маршрутов следования ВС на шумовую обстановку и оценены последствия пренебрежения данными сведениями.

Учет распределения полетов воздушных судов по номинальным схема полета, определенным АНПА [2], должен осуществляться как в период до установления седьмой подзоны ПАТ [3], так и в целях ее установления [4] в соответствии с нормативными и нормативно-техническими документами Российской Федерации.

Согласно перечню исходных данных, необходимых для обоснования границ седьмой подзоны, приведенному в Приложении №1 [1], оценка шумовой обстановки в том числе проводится на основании сведений о фактической загрузке каждого маршрута взлета/посадки в процентном (%) соотношении для среднегодового летного дня с распределением на дневное и ночное время. Что также предусмотрено в Приложении №3 к методическим указаниям МУК 4.3.3722-21 [5] в целях проведения оценки возможности размещения объектов в районе аэродромов на период до установления седьмой подзоны ПАТ.

Нормируемым параметром на территории является эквивалентный критерий АШ, что предусматривает учет количества шумовых событий (пролетов ВС) в нормируемый

период суток – дневное и ночное время [6, 7].

Наиболее сложной задачей перед разработчиком материалов по оценке шумовой обстановки является учет объективного, но при этом не завышенного или заниженного числа пролетов воздушных судов, способных повлиять на акустическое загрязнение исследуемой территории.

Центр экологической безопасности гражданской авиации (ООО «ЦЭБ ГА»), как разработчик системы мониторинга авиационного шума, осуществляет мониторинг воздушного движения с использованием пунктов мониторинга авиационного шума Ecoflight 14.11 [8, 9] программного обеспечения Ecoflight Monitoring (www.noise.aero).

В настоящей статье не рассматриваются последствия отклонения воздушных судов от установленных маршрутов, режимов эксплуатации воздушных судов, профилей набора и снижения высоты на шумовой режим на уровне земной поверхности. Целью настоящей статьи является демонстрация обоснованности требований [4, 5] по учету фактической загрузки маршрутов движения ВС при оценке АШ и демонстрация последствий формирования ошибочного сценария распределения полетов воздушных судов.

На рисунке 1 представлены фактические траектории движения ВС и номинальные схемы выполнения полетов по АНПА аэродрома Домодедово, а также отмечены места проведения мониторинга АШ испытательной лабораторией ООО «ЦЭБ ГА» в период с ноября 2021 г. по март 2023 г в районе аэродрома Домодедово.

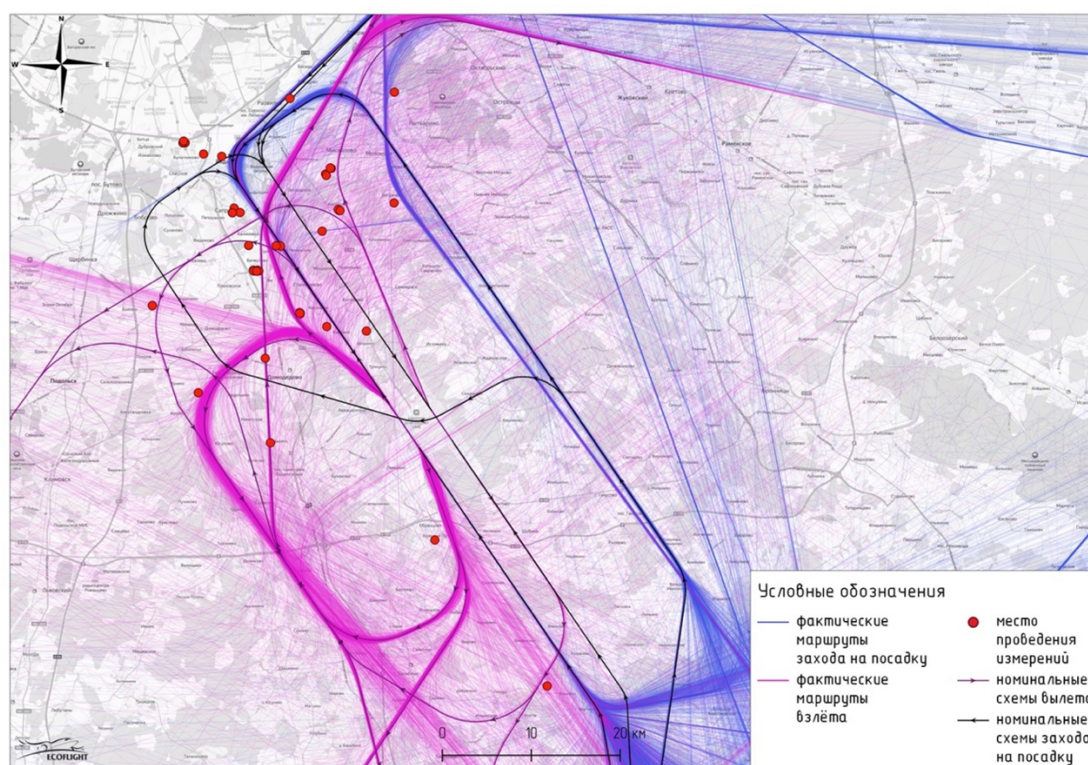


Рис. 1. Схема взаимного расположения номинальных и фактических линий пути выполнения полетов ВС и мест проведения мониторинга авиационного шума (2022-2023 годы.)

1. Анализ взаимного расположения установленных в АНПА маршрутов выполнения полетов ВС относительно мест установки пунктов мониторинга АШ

В качестве примера демонстрации подхода к формированию сценария выполнения полетов и влияния его полноты (достоверности) на результаты рассчитываемых уровней шума в местах проведения мониторинга АШ, рассмотрены полеты при эксплуатации искусственной взлетно-посадочной полосы (ИВПП) 14П/32Л аэродрома Домодедово. Автоматизированные пункты системы мониторинга авиационного шума Ecoflight 14.11 были размещены в СНТ Пахра-Киселиха, г. о. Домодедово, Московская область – точка №1 и в микрорайоне Северный, Домодедово, Московская область – точка №2. Размещение мест (точек) проведения мониторинга представлены на рисунке 2.



Рис. 2. Расположение мест проведения мониторинга АШ относительно установленных согласно АНПА маршрутов взлета и посадки

При рассмотрении установленных в АНПА аэродрома Домодедово [1] схем выполнения полетов относительно точки №1 проведения мониторинга потенциально подвержено шумовому влиянию трех маршрутов полетов ВС: вдоль маршрутов вылета – UUDD-142 и UUDD-150 и конечного участка схемы захода ВС на посадку на полосу 14П/32Л с МК=135°. Кратчайшее расстояние от установленных маршрутов в горизонтальной плоскости до точки №1 составляют: для маршрутов вылета UUDD-142 – 1600 м и для UUDD-150 300 м, до конечного участка захода на посадку – 1450 м. Точка №2 расположена на удалении 720 м от схемы вылета UUDD-150, удаление до остальных маршрутов участвующих в анализе превышает 3000 м.

Стоит отметить, что установленные в АНПА маршруты выполнения полетов зачастую не определяют прохождение фактических линий пути (проекции траектории полета на земную поверхность) и уровни шума как по максимальному, так и по эквивалентному критерию на территориях вблизи выполнения полетов зависят в первую очередь от следующих параметров эксплуатации аэродрома, влияющих на акустическое загрязнение территории по фактору АШ:

- величины фактического удаления ВС от исследуемой территории
- парка эксплуатируемых ВС на аэродроме
- частоты выполнения полетов вдоль схем полетов, при движении по которым оказывается шумовое воздействие на исследуемую территорию.

На основе данных, имеющихся в АНПА или других документах, описывающих правила и подходы к эксплуатации аэродрома и воздушного пространства вблизи него, невозможно определить с необходимой точностью ни один из параметров, указанные как наиболее значимые и определяющие уровни шума как в отдельных точках проведения оценки, так и на всей ПАТ [10, 11].

Для решения поставленной задачи за период проведения мониторинга АШ, были собраны, обработаны и выгружены из программного обеспечения Ecoflight Monitoring данные о фактических траекториях полетов ВС на ИВПП 14П/32Л аэродрома Домодедово за период проведения мониторинга АШ в дневное время суток в течение февраля 2023 года, что отображено на рисунке 3.

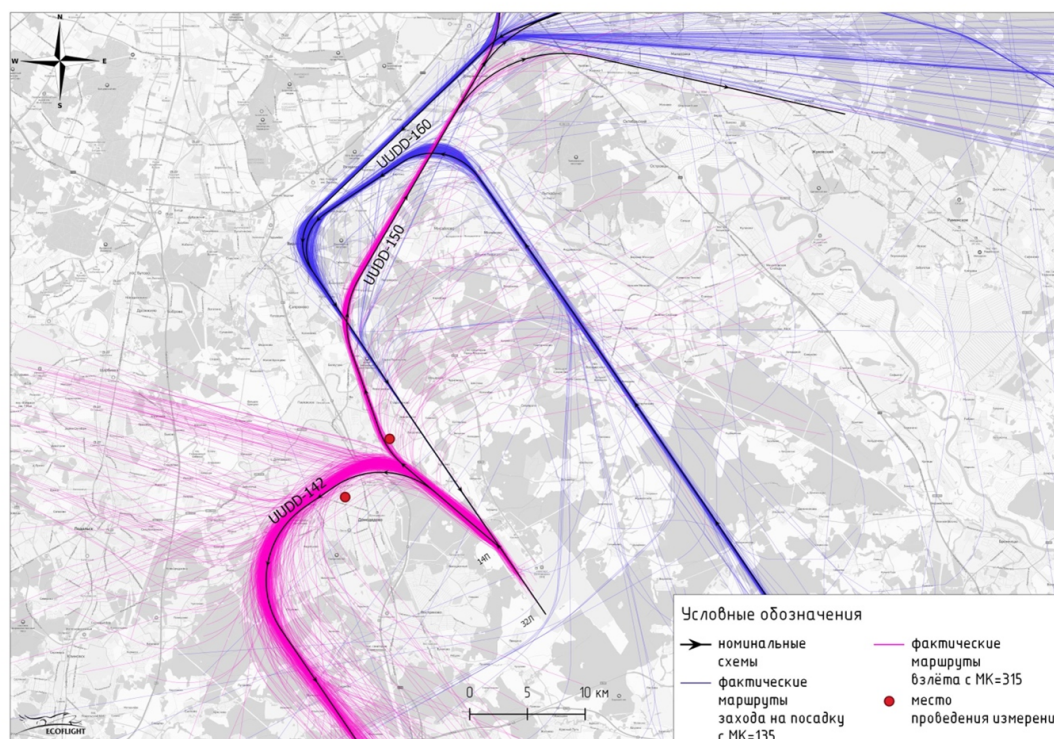


Рис. 3. Взаимное расположение фактических и номинальных схем согласно АНПА линий пути взлета, посадки ВС и точек проведения мониторинга АШ

Как можно заметить на рисунке 3, частота выполнения летных операций по схемам маневрирования ВС различная и вероятность выполнения полетов вдоль той или иной схемы зависит от множества параметров и факторов, которые можно оценить только при наличии сведений о фактической эксплуатации как ИВПП (магнитные курсы совершаемых операций), так и частоты совершения полетов по различным схемам за прошедшие длительные периоды времени.

Эквивалентные уровни шума в рассматриваемых точках 1 и 2 зависят в первую очередь от распределения количества выполненных полетов вдоль маршрутов UDD-142, UDD-150. Для определения данного распределения, был разработан и внедрен в СМАС Ecoflight Monitoring программный модуль анализа принадлежности фактической траектории полета одной из номинальной схем маневрирования, установленной в АНПА – Ecoflight Track Classifier, реализованной на основе алгоритмов машинного обучения, что позволяет определять принадлежность траектории ВС не только на основании оценки удаленности линии пути (близость ее прохождения от установленного маршрута), но и последовательности прохождения точек обязательного донесения. Также разработанный программный модуль позволяет определять магистральные линии пути ВС, осуществляющих полет вне номинальных (установленных) схем.

На рисунке 4 представлен результат автоматического определения принадлежности фактической траектории движения ВС к номинальной (установленной) в АНПА [1] схеме. Каждый кластер линий пути выделен цветом, характеризующим принадлежность одной из установленных схем.

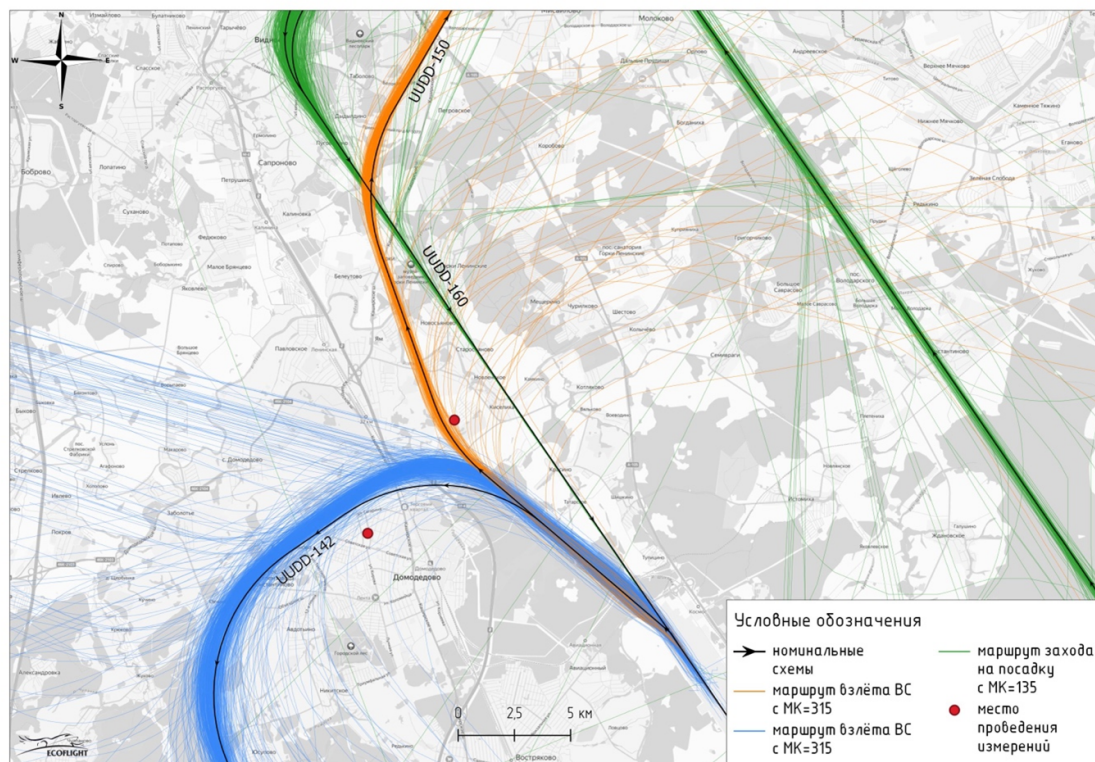


Рис. 4. Результат автоматического определения принадлежности линии пути движения ВС установленному маршруту

На рисунке 4 можно заметить, что выполнение полетов вдоль схемы UDD-142 осуществляется со значительными отклонениями в районе точки №1 в северном направлении, однако оценка влияния данных отклонений в настоящей статье не рассматривается. Стоит отметить, что помимо вероятности (частоты) выполнения полетов вдоль участвующих в исследовании схем маневрирования ВС при одинаковом начальном курсе при разбеге по ИВПП, для определения шумового режима на исследуемых территориях необходимо определить частоту эксплуатации магнитных курсов взлетно-посадочных операций (ВПО) (начальный при разбеге или конечный при пробеге по ИВПП).

При рассмотрении описанной гипотезы в отношении мест (точек) проведения мониторинга АШ точку №2 можно характеризовать как не подверженную шумовому воздействию при эксплуатации ИВПП с МК=135°, а точку №1 подверженную только влиянию АШ при посадке ВС с МК=135° или же частичному влиянию в ряде дней воздействию АШ как при посадке ВС с МК=135°, так и при взлете ВС с МК=315° с учетом доли прохождения ВС по маршрутам UUDD-142, UUDD-150 и т.д.

В целях демонстрации непостоянства эксплуатации ИВПП аэродрома Домодедово и, как следствие, различную долю воздействия на точки №1 и №2 по фактору АШ в различные дни на рисунке 5 представлена гистограмма, которая демонстрирует долю всех выполненных летных операций по одному из трех маршрутов движения от общего количества операций за дневное время суток в период проведения оценки. Анализу подлежали летные операции, способные оказать воздействие на шумовую обстановку в районе мест (точек) мониторинга АШ №1 и №2.

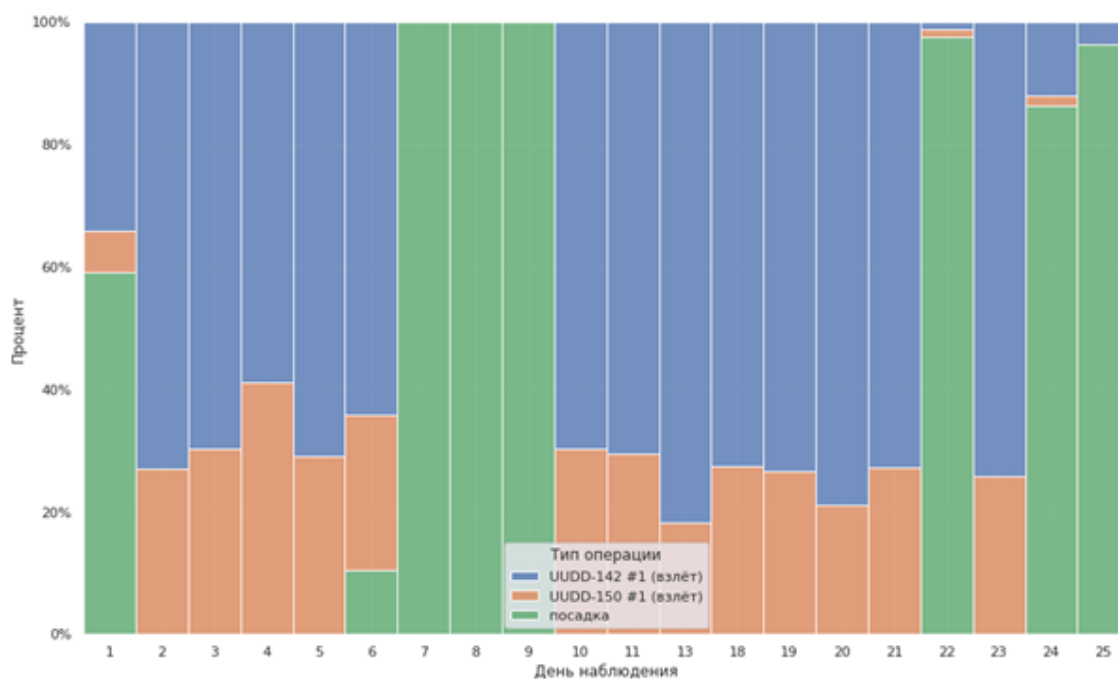


Рис. 5. Доли эксплуатации маршрутов полетов ВС за период проведения исследований

Представленное соотношение выполнения полетов вдоль установленных схем взлета UUDD-142, UUDD-150 и захода на посадку с МК=135° демонстрирует что: - при эксплуатации ИВПП 14П/32Л в северном направлении средняя величина взлетных операций в объеме 29% приходится на схему UUDD-150 и 71% на схему UUDD-142. - за период проведения анализа, в 8 из 25 дней полеты выполнялись с МК=135°. При этом только 3 дня полеты с данным курсом выполнялись весь день.

Полученные соотношения определяют лишь ту часть информации о режиме эксплуатации аэродрома, позволяющей провести оценку и прогнозирование уровней шума в точках №1 и №2 в рамках настоящего эксперимента. Для получения полного набора исходных данных, описывающих эксплуатации маршрутов полетов ВС, подобный анализ должен включать более длительный временной период значительно превосходящий представленный в данной работе. Это позволит более полноценно провести оценку факторов, которые могут влиять на распределение использования маршрутов и выполнение полетов с различными магнитными курсами.

2. Анализ шумового воздействия ВС в местах проведения мониторинга

На рисунке 6 представлена принадлежность шумового события, зафиксированного в месте проведения мониторинга №1, для каждой из эксплуатируемых схем выполнения полетов согласно условным обозначениям: взлетная операция ВС с МК=315° вдоль маршрутов UDD-142, UDD-150 и при заходе на посадку с МК=135°. Горизонтальное распределение на графике показывает меру отклонения ВС от установленной схемы (вертикальная линия), вертикальное распределение – уровень шумового воздействия.



Рис. 6. Значения уровней шума в точке №1 при пролете ВС по эксплуатируемым маршрутам движения в период проведения мониторинга АШ

На основании анализа сведений, представленных на рисунке 6 установлено, что наибольшие уровни шума создаются в точке №1 при полетах ВС вдоль маршрута взлета UDD-150. В тоже время количество ВС, осуществляющих полеты вдоль данного маршрута значительно меньше по сравнению с маршрутом взлета UDD-142 для среднего показателя за период исследований.

Для каждой из групп шумовых событий, соответствующих воздействию при пролетах ВС вдоль каждого из исследуемых маршрутов, на рисунках 7-9 представлены гистограммы уровней шума.

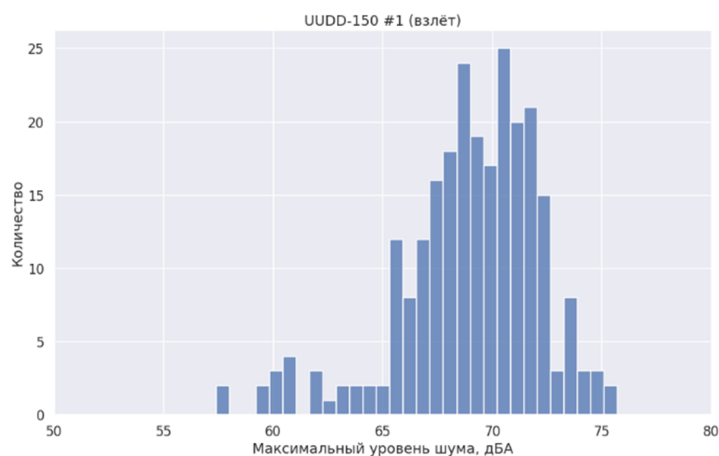


Рис. 7. Гистограммы уровней шума, зафиксированных в точке №1, при пролетах ВС вдоль маршрута UDD-150

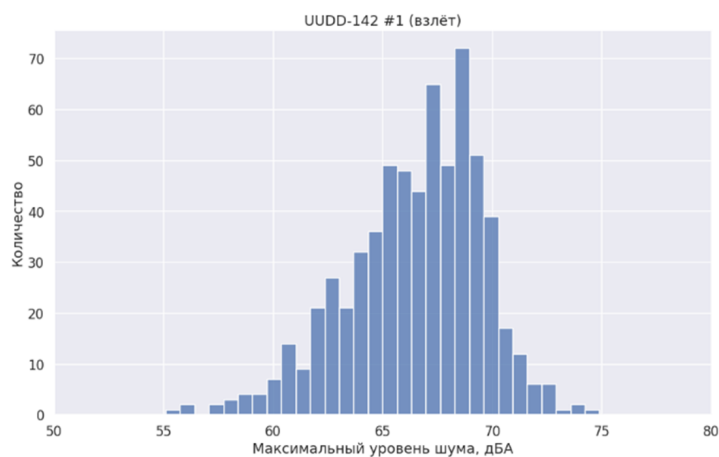


Рис. 8. Гистограммы уровней шума, зафиксированных в точке №1, при пролетах ВС вдоль маршрута UDD-142

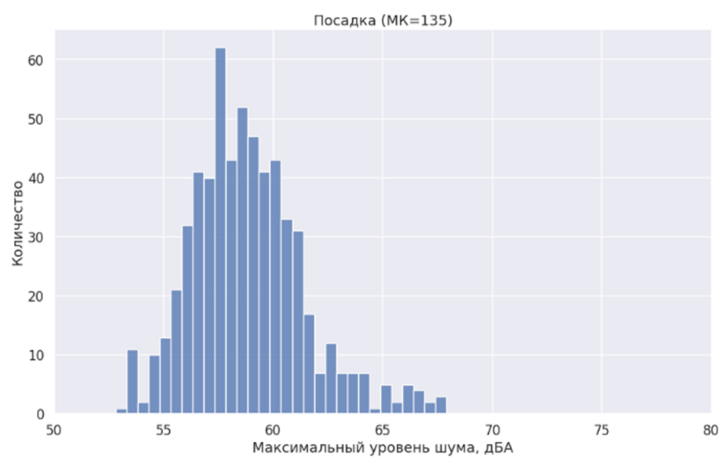


Рис. 9. Гистограммы уровней шума, зафиксированных в точке №1, при пролетах ВС заходе на посадку

Точка проведения мониторинга АШ №2 попадает под шумовое воздействие только при взлете ВС вдоль маршрута UDD-142 за период проведения эксперимента в течение 25 дней.

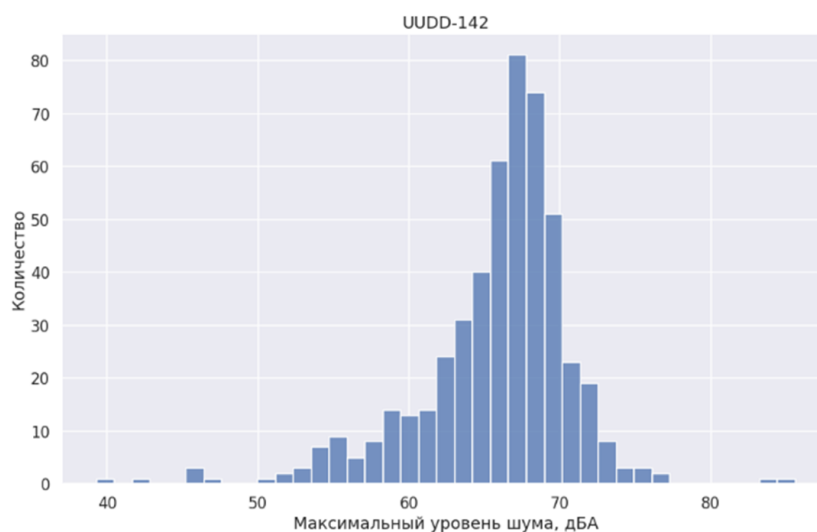


Рис. 10. Гистограммы уровней шума, зафиксированных в точке №2, соответствующих пролетам ВС вдоль исследуемых маршрутов

Согласно разделу 9 МУК 4.3.3722-21 [5] каждая точка на местности характеризуется параметром среднего максимального уровня шума $\bar{L}_{\text{Амакс}}$ при оценке АШ как непостоянной величины. В таблице 1 представлены результаты расчета $\bar{L}_{\text{Амакс}}$ для исследуемых точек и соответствующих маршрутов.

Таблица 1

Средние максимальные уровни шума $\bar{L}_{\text{Амакс}}$ для исследуемых точек и соответствующих маршрутов

Место мониторинга	Тип операции с указанием маршрута полета	$\bar{L}_{\text{Амакс}}$, дБА
Точка №1	Взлет с МК=315°UDD-142	67,4
	Взлет с МК=315°UDD-150	70
	Посадка с МК=135°	59,7
Точка №2	Взлет с МК=315°UDD-142	68,5

3. Учет сценария выполнения полетов ВС для выбранного места проведения мониторинга

Приложением №1 «Методики установления седьмой подзоны приаэродромной территории, расчета и оценки рисков для здоровья человека» [4] и Приложением №3 МУК 4.3.3722-21 [5] предусмотрена необходимость формирования сценария эксплуатации аэродрома для целей проведения расчета эквивалентного уровня шума в том числе в части учета загрузки каждого маршрута в процентном соотношении для среднегодового летного дня. В разделе 1 настоящей статьи представлен результат оценки в процентном соотношении распределения взлетных операций по маршрутам UDD-142 и UDD-150 при разбеге с МК=315°. С учетом полученных средних максимальных уровней шума для

каждого из маршрута движения ВС (Таблица 2) проведен расчет эквивалентного уровня шума [4, 5] по формуле (1):

$$L_{\text{Аэкв}} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \bar{\tau}_{\text{эф}i} \cdot 10^{0,1 \cdot (\bar{L}_{\text{Амакс}} + U(95\%))} \right), \quad (1)$$

где T – регламентируемый интервал времени, равный 57600 с для дневного времени и 28800 с для ночного времени, с;

$\bar{\tau}_{\text{эф}i}$ – среднее эффективное время звучания, с;

$\bar{L}_{\text{Амакс}}$ – средний максимальный уровень шума, дБА;

$U(95\%)$ – расширенная неопределенность измерений, дБА.

Результаты проведенного расчета эквивалентного уровня шума в каждой из двух точек проведения мониторинга АШ представлен в Таблице 2.

Таблица 2

Эквивалентные уровни шума $L_{\text{Аэквив д.}}$ в точках проведения мониторинга с учетом и без учета сведений о доле эксплуатации маршрутов движения ВС в районе мест проведения мониторинга АШ

Место мониторинга	Тип операции с указанием маршрута полета	$\bar{L}_{\text{Амакс}}$	Интенсивность %, (шт.)	$L_{\text{Аэквив д.}}$ дБА
Точка №1	Взлет с МК=315°UDD-142	67,4	71% (82)	51,2
			100% (115)	52,7
	Взлет с МК=315°UDD-150	70	29% (33)	49,3
			100% (115)	54,8
	Посадка с МК=135°	59,7	100% (115)	46,7
Точка №2	Взлет с МК=315°UDD-142	68,5	71% (81)	52
			100% (115)	53,5

Результаты проведенного расчета эквивалентного уровня шума подтверждают обоснованность требований по формированию сценария эксплуатации аэродрома [4, 5] и, в первую очередь, в части оценки вероятности частоты возникновения шумового события, т.е. пролета ВС по соответствующему маршруту вблизи точки проведения исследований.

Представленные результаты оценки шумового воздействия на территорию исследования в точке №1 установлено, что без проведения комплексного исследования фактической эксплуатации аэродрома по учету фактической загрузки маршрутов движения ВС, ошибка расчета может составлять до 5,5 дБА от уровня фактического воздействия по эквивалентному критерию при выполнении взлетных операций вдоль маршрута UDD-150, что эквивалентно увеличению уровня звукового давления более чем в 3,5 раза. Указанное несоответствие может возникнуть в случае пренебрежения сведениями о фактической загрузке данного маршрута, которая не превышает в среднем 29% от всех взлетных операций с МК=315° в феврале 2023 г.

Оценка режима эксплуатации ВС и уровней шумового воздействия в точке №2, продемонстрировали, что определить вероятность возникновения шумового события, вызванного пролетом ВС по маршруту вылет с МК=315°UDD-142 невозможно без информации о количестве ВС, выполняющих вылет по схеме UDD-150, полеты вдоль которой не оказывают шумового воздействия на исследуемую территорию, или общего количества взлетных операций с МК=315°.

Также стоит отметить, что информация о распределении ВПО как по маршрутам, так и по магнитным курсам не может быть сформирована за краткосрочный период оценки, в связи с тем, что полученные соотношения могут не включать в себя все возможные сценарии фактической загрузки маршрутов движения ВС, в том числе сезонные.

Результаты выполненного анализа могут быть использованы как для целей определения границ шумовой зоны аэродрома, а также в целях справедливого распределение шума на территориях, прилегающих к аэродрому при выявлении мест, где уровень разрежения авиационным шумом является наибольшим путем предложения иного распределения летных операций по маршрутам или разработки дополнительных маршрутов движения ВС [12].

Заключение

При проведении мониторинга АШ в целях установления границ шумовой зоны аэродрома или в целях оценки шумового воздействия для определенной территории показана необходимость учета сценария эксплуатации аэродрома по учету фактической загрузки маршрутов движения ВС, отражающего действительную возможную долю пролетов воздушных судов при движении ВС по оцениваемому маршруту полета от общего числа подобных летных операций на аэродроме.

На основании реализованного модуля ПО *Ecoflight Monitoring* определена принадлежность фактически выдержанных маршрутов установленным в АНПА с последующим определением доли распределения выполненных летных операций с одинаковым стартовым курсом выполняемой операции по различным маршрутам.

Представлен перечень возможных неточностей и ошибок в составлении сценария эксплуатации аэродрома по учету фактической загрузки маршрутов движения ВС и их влияние на оцениваемый эквивалентный уровень шума на местности. Представлены результаты расчета эквивалентного уровня шума при оценке интенсивности полетов вдоль установленных маршрутов с учетом и без сведений о фактическом распределении летных операций.

По результатам проведенного эксперимента подтверждена необходимость и важность формирования сценария распределения летных операций по маршрутам движения ВС в целях исключения определения завышенных уровней шума, влекущие за собой установление избыточных ограничений на использование земельных участков и исковые требования к оператору аэродрома по возмещению убытков за установление необоснованных ограничений.

Ответственным за подготовку и согласование проекта седьмой подзоны ПАТ (шумовой зоны) является оператор аэродрома, который должен осуществить сбор сведений о фактической эксплуатации маршрутов движения ВС аэродрома на основании работы соответствующего органа ОВД, что является очень сложной и трудоемкой работой. Наиболее эффективным и доступным способом сбора данных о пространственном положении воздушных судов в целях формирования сценария выполнения полетов на аэродроме является реализованное программное обеспечение ООО «ЦЭБ ГА» в составе системы мониторинга АШ *Ecoflight Monitoring* [8, 9] (www.noise.aero).

Список литературы

1. «Методика установления седьмой подзоны приаэродромной территории, расчета и оценки рисков для здоровья человека», утвержденной приказом Роспотребнадзора №664 от 7.12.2022 г.
2. Аэронавигационный паспорт аэродрома Москва (Домодедово).
3. Федеральный закон от 1.07.2017 г. N 135-ФЗ «О внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ в части совершенствования порядка установления и использования приаэродромной территории и санитарно-защитной зоны».
4. Федеральный закон от 19.03.1997 г. N 60-ФЗ «Воздушный кодекс Российской Федерации».
5. МУК 4.3.3722-21 "Контроль уровня шума на территории жилой застройки, в жилых и общественных зданиях и помещениях" (утв. Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека 27 декабря 2021 г.)
6. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания»
7. СанПиН 2.1.3684-21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению населения, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуатации производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий»
8. Патент на изобретение №2775874: «Способ и система мониторинга авиационного шума», 2021 г.
9. Сертификат об утверждении типа средств измерений №83653-21: Комплексы контроля акустического шума автоматизированные EcoFlight 14.11
10. Картышев М. О Применение мер сбалансированного подхода ИКАО к управлению авиационным шумом при обосновании и контроле размеров шумовой зоны приаэродромной территории», Научный вестник ГосНИИ ГА, 2021, №36.
11. Картышев О.А., Картышев М. О., Ардашев И. О. Установление внешних границ седьмой подзоны и зоны запрещения строительства нормируемых объектов приаэродромной территории. Научный вестник ГосНИИ ГА, 2022, № 39.
12. Saito, Y., Yoshimura, S., Inoue, M., Takahashi, M., Sugihara, Y. (2019). Optimal Trajectory Planning of Aircraft for Fair-Sharing of Noise. IFAC-PapersOnLine, 52(8), 368-374.

References

1. "Methodology for establishing the seventh subzone of the aerodrome area, calculating and assessing risks to human health", approved by order of Rospotrebnadzor No. 664 dated December 7, 2022.
2. Aeronautical passport of the airfield Moscow (Domodedovo).
3. Federal Law No. 135-FZ dated July 1, 2017 "On Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation in Part of Improving the Procedure for Establishing and Using the Airfield Territory and the Sanitary Protection Zone."
4. Federal Law No. 60-FZ of March 19, 1997 "Air Code of the Russian Federation".
5. MUK 4.3.3722-21 "Noise level control in residential areas, in residential and public buildings and premises" (approved by the Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Welfare on December 27, 2021)

6. SanPiN 1.2.3685-21 "Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans"
7. SanPiN 2.1.3684-21 "Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply of the population, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures"
8. Patent for invention No. 2775874: "Method and system for monitoring aircraft noise", 2021
9. Type approval certificate for measuring instruments No. 83653-21: Automated acoustic noise control systems EcoFlight 14.11
10. Kartyshev M. O Application of measures of the ICAO balanced approach to the management of aircraft noise in the justification and control of the size of the noise zone near the aerodrome territory, Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation, 2021, No. 36.
11. Kartyshev O.A., Kartyshev M.O., Ardashev I.O. Establishment of the outer boundaries of the seventh subzone and the prohibition zone for the construction of standardized facilities near the aerodrome area. Scientific Bulletin of the State Research Institute of Civil Aviation, 2022, No. 39.
12. Saito, Y., Yoshimura, S., Inoue, M., Takahashi, M., Sugihara, Y. (2019). Optimal Trajectory Planning of Aircraft for Fair-Sharing of Noise. IFAC-PapersOnLine, 52(8), 368-374.