

УДК: 519.711.3:[534.836.2:629.735]

OECD: 02.02.ES

Оценка влияния горизонтальных отклонений ВС от номинальных схем полета, определенных в АНПА, на шумовое воздействие в местах расположения пунктов мониторинга

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

¹ Начальник отдела разработки ПО ² Генеральный директор

³ К.т.н., заведующий испытательной лабораторией

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

Аннотация

В настоящей работе по анализу эксплуатации аэродрома Внуково представлены результаты оценки влияния горизонтальных отклонений воздушных судов от номинальной линии пути по схемам полета, определенных в аэронавигационном паспорте аэродрома, на шумовое воздействие в местах расположения пунктов мониторинга. Сбор пространственных параметров и значений уровней шума при пролетах воздушных судов был выполнен с применением системы мониторинга авиационного шума Ecoflight Monitoring.

Полученный набор зафиксированных данных и выполненный анализ профилей набора высоты позволил продемонстрировать, что для выбранной территории, наиболее значимым параметром, влияющим на изменение шумовой обстановки являются отклонения воздушных судов от номинальных схем маневрирования в горизонтальной проекции.

Представленные результаты анализа и оценки отклонений воздушных судов от номинальных схем демонстрирует последствия данных отклонений на фактическую шумовую обстановку и необходимость применения комплексной системы мониторинга в целях разработки шумовых зон аэродромов с учетом фактических траекторий выполнения полетов.

Ключевые слова: система мониторинга авиационного шума, отклонения воздушных судов от маршрутов, анализ шума, измерение авиационного шума, оценка отклонений, воздушные суда, траектории полета.

Evaluation of the impact of aircraft horizontal deviations from nominal flight paths defined in the AIP on noise levels at monitoring sites

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

¹ Head of the department of software development ² CEO ³ Ph.D., head of laboratory

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

Abstract

The presented article demonstrates an approach to the analysis of the flight scenario of Vnukovo Airport in order to determine the effect of horizontal deviations of aircraft from the recommended departure routes on noise levels at noise monitoring sites. Collecting of spatial parameters and noise levels during aircraft overflights was performed using the Ecoflight Monitoring aircraft noise monitoring system.

The obtained set of recorded data and the analysis of the climb profiles made it possible to demonstrate that for the selected territory of the noise monitoring terminal, the most significant parameter influencing the noise change is aircraft deviations from the recommended departure routes in the horizontal projection.

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

The presented results of the analysis and evaluation of aircraft deviations from the recommended routes demonstrate the consequences of these deviations on the actual noise impact and the need to use an integrated monitoring system in order to develop boundaries noise zones, based on the actual flight paths.

Keywords: aircraft noise monitoring system, aircraft path deviations, noise analysis, aviation noise measurement, deviation assessment, aircraft, flight paths.

Введение

Воздушные суда (далее – ВС), выполняющие полеты вблизи аэродромов на высотах менее 3000 м, оказывают значимое шумовое воздействие на прилегающие территории вдоль маршрутов полета, которые зачастую являются частью густонаселенных городских территорий или планируемых к жилой застройке. Точность оценки уровней авиационного шума и ее достоверность определяет комфорт и безопасность проживания населения в зоне шумового воздействия при полетах ВС. Текущие стандарты и требования по оценке уровней шума на местности [1], методика установления седьмой подзоны приаэродромной территории [2, 3] и рекомендации ИКАО [4] по разработке шумовых зон аэродромов не учитывают в достаточной мере данные о фактическом режиме выполнения полетов. Под фактическим режимом выполнения полетов понимаются пространственные и статистические параметры, описывающие выполнение полетов в зонах вылета и захода ВС на посадку.

В общем случае, величина отклонений ВС в горизонтальной плоскости имеет случайный характер с нормальным, или близким к нему, распределением [4], что показывают представленные в статье данные о траекториях ВС, демонстрирующие присутствие плохо прогнозируемых отклонений ВС, которые приводят к значительным разбросам уровней шума в месте проведения мониторинга.

Рассмотренные в данной статье факторы и условия, оказывающие влияние на уровни шума в месте проведения мониторинга, не позволяют провести оценку уровней шума расчетным способом без использования данных, полученных системой мониторинга авиационного шума (далее – СМАШ) Ecoflight Monitoring [5,6], а именно данных о фактических траекториях выполнения полетов.

1. Исходные условия проведения мониторинга шума

В качестве территории для проведения исследования, было выбрано одно из мест размещения автоматизированного пункта мониторинга авиационного шума (далее – АПКАШ) Ecoflight 14.11 в населенном пункте в д. Соколово (поселение Марушкинское, Москва).

На рисунке 1 представлено взаимное расположения места установки АПКАШ (координаты 55.540399, 37.182966) и номинальных линий пути движения ВС по схемам полета, определенных в аэронавигационном паспорте аэродрома (далее – АНПА) для взлетных операция с магнитным курсом (далее – МК) 192° и 237° аэродрома Внуково [7]. Измерения уровней авиационного шума (далее – АШ) проводились в период с 16.12.2021 по 03.02.2022 г в соответствии с методическими указаниями [1].

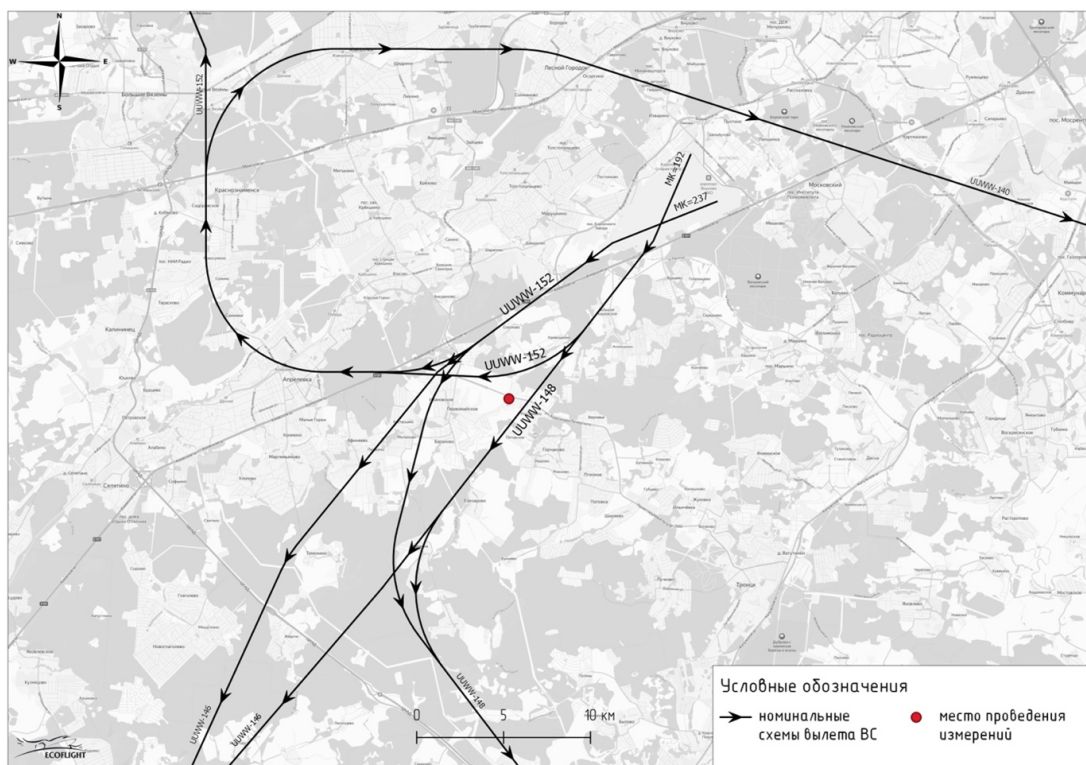


Рис. 1. Место размещения АПКАШ и схемы выполнения взлетных операций с $MK=237^\circ$ и $MK=192^\circ$, определенные в АНПА

Представленные схемы вылета ВС с $MK=192^\circ$ и $MK=237^\circ$ на рисунке 1 определяют шумовую обстановку в месте проведения мониторинга АШ, так как минимальное удаление от представленных схем выполнения полетов до места размещения АПКАШ составляет менее 3000 м, и для схемы UJWW-148 с $MK=192^\circ$ минимальное удаление 550 м, для схемы UJWW-152 с $MK=192^\circ$ минимальное удаление 750 м и для схема UJWW-152 $MK=237^\circ$ минимальное удаление 2100 м.

Для исключения факторов, выходящих за пределы данного исследования и влияющих на уровни шума, были проанализированы траектории взлета ВС одной модели (типа ВС), а именно Boeing 737-800 авиакомпании «Победа».

На рисунке 2 продемонстрировано распределение фактических линий пути следования ВС за период проведения исследований при взлете с $MK=192^\circ$ и $MK=237^\circ$ относительно номинальных схем, определенных в АНПА.

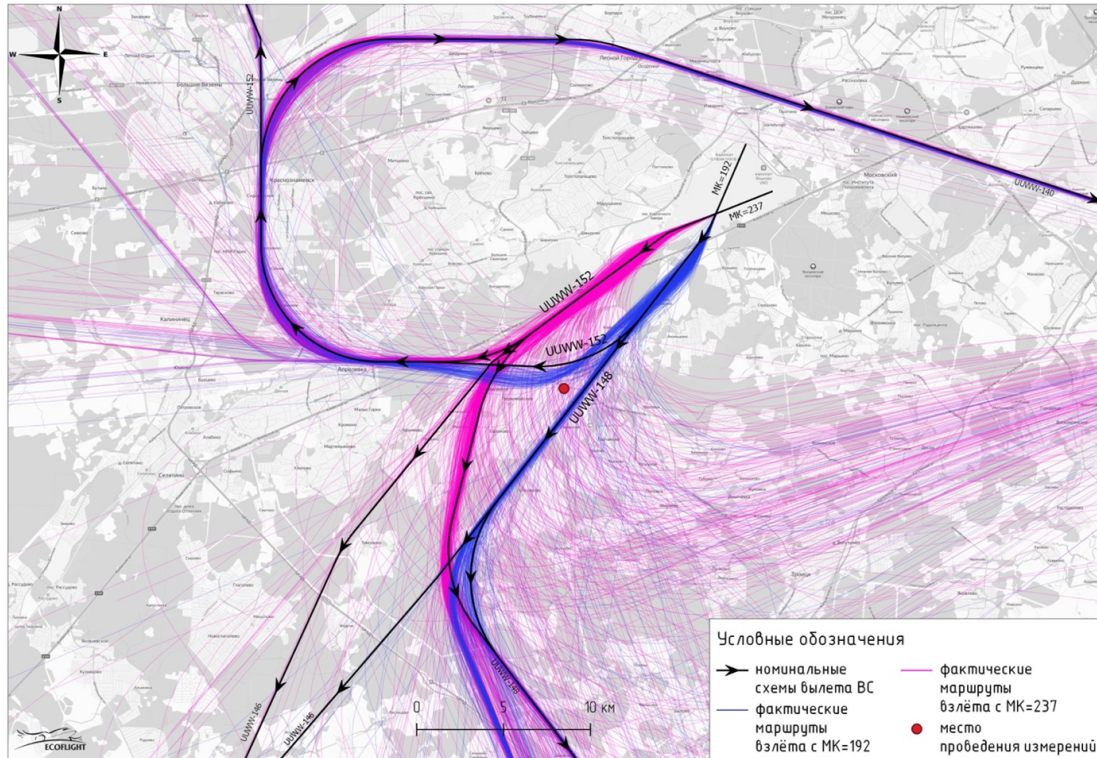


Рис. 2. Распределение фактических линий пути движения ВС относительно установленных в АНПА маршрутов и места размещения АПКАШ

2. Анализ влияния профиля набора высоты на уровни шума в месте проведения мониторинга АШ

В рамках проведения исследований было проанализировано 2005 траекторий взлета ВС Boeing 737-800 авиакомпании Победа, из них 1477 траекторий соответствуют взлетным операциям с МК=237° и 528 соответствуют операциям с МК=192°.

На рисунке 2 заметно, что часть операций взлета выполняются с отклонением от определенных в АНПА схем полета, а также при взлете с МК=237° полеты с левым поворотом по ходу движения ВС выполняются в отсутствие установленных в АНПА схем. Также стоит отметить, что все траектории взлета ВС с МК=192°, оцененных в исследовании, осуществлявших полет вдоль маршрута UJWW-148 проходят на удалениях 200-700 метров от определенного в АНПА маршрута. Данная ситуация говорит о систематическом отклонении ВС от данной схемы и характер выполнения полетов приводит к сокращению расстояния от источника шума до исследуемой территории (д. Соколово).

На рисунке 3 приведены профили набора высоты для ВС авиакомпании Победа при курсе взлета с МК=237° и с МК=192°: усредненные профили набора высоты (тёмно-красная и темно-синяя линии соответственно) с отображением коридора высот (светло-красная и светло-синяя зоны), характеризующим 95% вероятность нахождения ВС в указанном интервале высот.

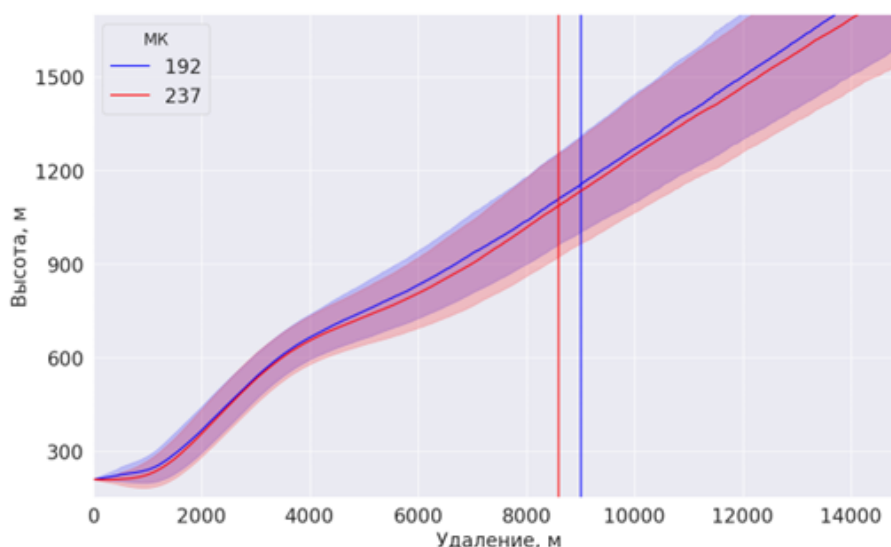


Рис. 3. Усредненный профиль набора высоты при взлете ВС с МК=192° и МК=237° с диапазоном высот характерных для 95% исследуемых ВС

По представленным данным, высота пролета ВС с обоих исследуемых курсов сопоставимы и составляют 1050-1150 метров в окрестности проведения измерений уровней шума (вертикальными линиями отмечено место установки пункта мониторинга вдоль линии пути ВС). При сравнении уровней АШ для двух рассматриваемых курсов взлета, наиболее значимым параметром, определяющим уровень шумового воздействия на место проведения мониторинга, является расстояние от наблюдателя до линии пути следования ВС (до горизонтальной проекции траектории полета). Для доказательства данной гипотезы была построена зависимость уровня шума от высоты пролетающих ВС и представлена на рисунке 4.

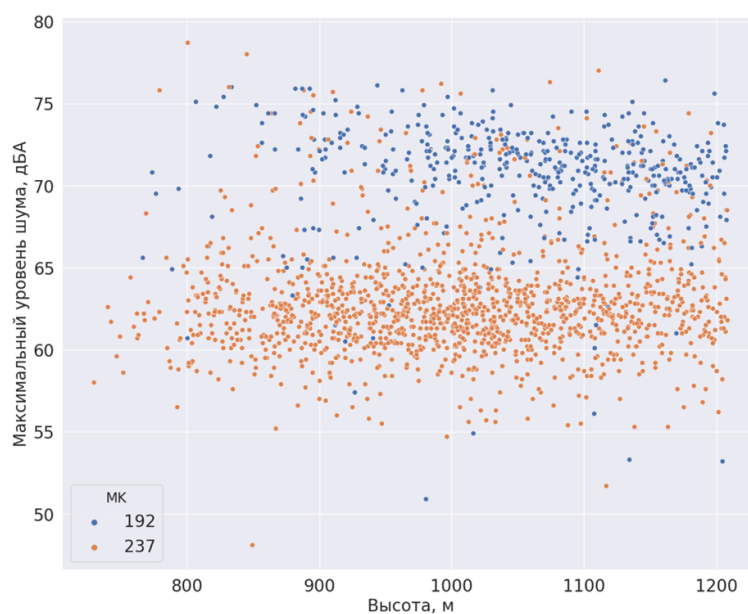


Рис. 4. Зависимость уровня шума от высоты пролета ВС над местом проведения мониторинга

Значения уровней шума, представленные на рисунке 4 и соответствующие пролетам ВС с $\text{МК}=237^\circ$, не имеют явно выраженных трендов, которые можно было бы объяснить влиянием высоты пролетающих ВС вблизи точки измерения. Отсутствие данной зависимости объясняется геометрическим расположением места проведения мониторинга относительно фактических траекторий осуществления взлетов с $\text{МК}=237^\circ$, а именно тем, что полеты выполняются на удалениях от места исследований, сопоставимых или превосходящих высоту пролета ВС, относительно исследуемой территории. Таким образом, для ВС осуществляющих взлеты с $\text{МК}=237^\circ$ и в непосредственной близости от установленной схемы (в диапазоне отклонений ± 300 м), угол визирования не превышает 30° [4]. Следует отметить, что сделанный вывод характерен для конкретной точки проведения мониторинга, а также условий проведения эксперимента и не может быть распространен на иные территории в районе аэродрома.

Для значений уровней шума, соответствующих взлетам ВС с $\text{МК}=192^\circ$, заметен ниспадающий тренд при увеличении высоты пролета ВС. Возникновение незначительной для данного анализа зависимости уровня шума от высоты пролета ВС с $\text{МК}=192^\circ$ можно объяснить тем, что боковое удаление фактических траекторий ВС до точки наблюдений сопоставимо высоте пролета ВС или меньше (удаления менее 500 м), и в этом случае угол визирования находится в пределах от 45° до 90° . Однако в рамках проведения текущего анализа данной зависимостью можно пренебречь в силу ее незначительности.

3. Анализ влияния горизонтальных отклонений ВС от установленных маршрутов на уровни шума в месте проведения мониторинга

По результатам проведения мониторинга получены следующие результаты: средний максимальный уровень шума $\bar{L}_{\text{Амакс}}$ при выполнении полетов с $\text{МК}=192^\circ$ составляет 71,4 дБА, при выполнении полетов с $\text{МК}=237^\circ$ $\bar{L}_{\text{Амакс}}=64,7$ дБА. За исследуемый период доля ВС, выполняющих полеты с $\text{МК}=237^\circ$ составляет 74% от всех зафиксированных шумовых событий в месте проведения мониторинга и 26% для ВС, выполняющих взлет с $\text{МК}=192^\circ$. Средний максимальный уровень шума для ВС выполняющих взлет с $\text{МК}=192^\circ$ на 6,7 дБА больше, что характеризует большую частоту сближения ВС с территорией при следовании по данному маршруту.

Для демонстрации влияния отклонений ВС от установленных схем на уровни шума в месте проведения мониторинга, на рисунке 5 была построена зависимость максимального уровня шума от удаления ВС до исследуемой территории. Как было сказано ранее, высота пролетов ВС для обоих курсов сопоставима, и не оказывает значимого влияния на изменение уровней шума, что получило свое подтверждение на рисунке 5. Вертикальными линиями отмечены удаления от места размещения АПКАШ до исследуемых маршрутов.

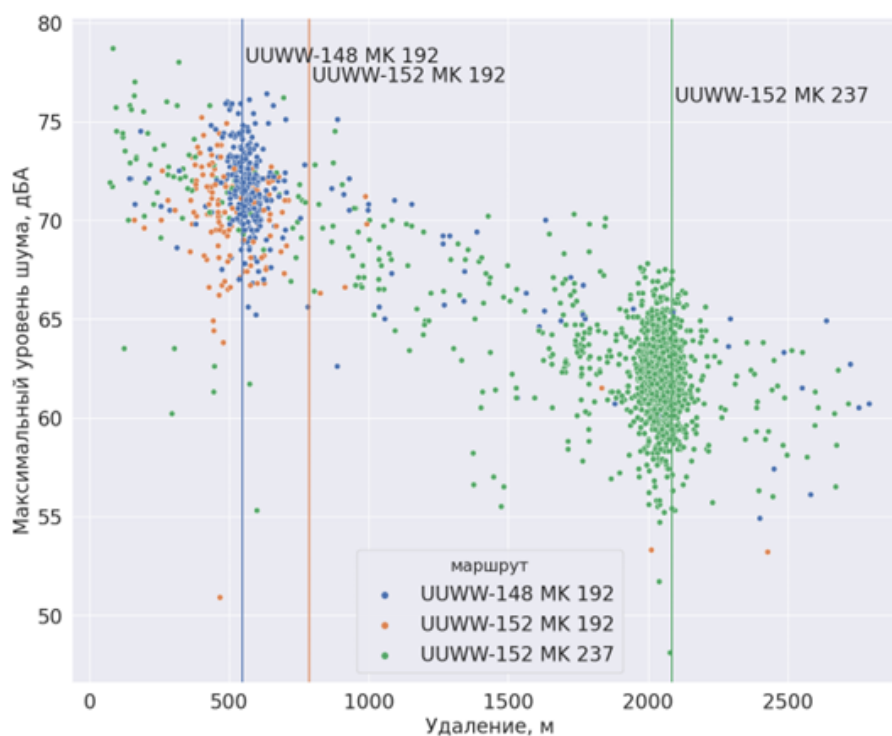


Рис. 5. Зависимость уровня шума от удаления ВС до места размещения АПКАШ, с указанием удаления до принятых в АНПА схем вылета

Как можно заметить, большая часть шумовых событий соответствуют пролетам ВС вдоль схем UUWW-148 с МК=192° (зеленые и оранжевые маркеры на графике) и UUWW-152 с МК=237° (оранжевые маркеры на графике).

Стоит отметить, что операции взлета ВС с МК=192° должны выполняться вдоль двух маршрутов UUWW-148 (синие маркеры) и UUWW-152 (оранжевые маркеры) относительно места проведения мониторинга на удалениях 550 м (синяя линия) и 750 м (оранжевая линия) соответственно. Однако, подавляющее большинство шумовых событий от пролетов ВС вдоль маршрута UUWW-152 МК=192° были зафиксированы при движении ВС на удалениях менее 750 м, что демонстрирует систематическое нарушение или принципиальную невозможность осуществления полетов вдоль данного маршрута.

По результатам представленного анализа, была выполнена группировка траекторий ВС и значений уровней шума, соответствующих пролетам ВС по данным траекториям. Всего было сформировано две группы, с отклонениями менее 300 м и с отклонениями более 300 м относительно ожидаемой траектории (установленного маршрута) выполнения полета. На рисунке 6 и рисунке 7 отображены уровни шума с указанной принадлежностью к группам отклонений от 0 до ± 300 м, и от ± 300 и более метров для операций взлета с МК=192° и МК=237°.

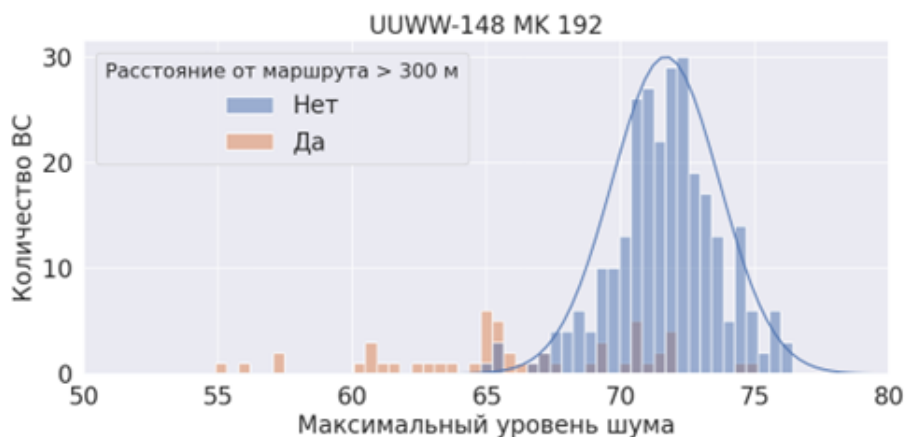


Рис. 6. Гистограмма максимальных уровней шума ВС при взлете с МК=192° вдоль маршрута UUWW-148 с группировкой отклонившихся ВС от маршрута

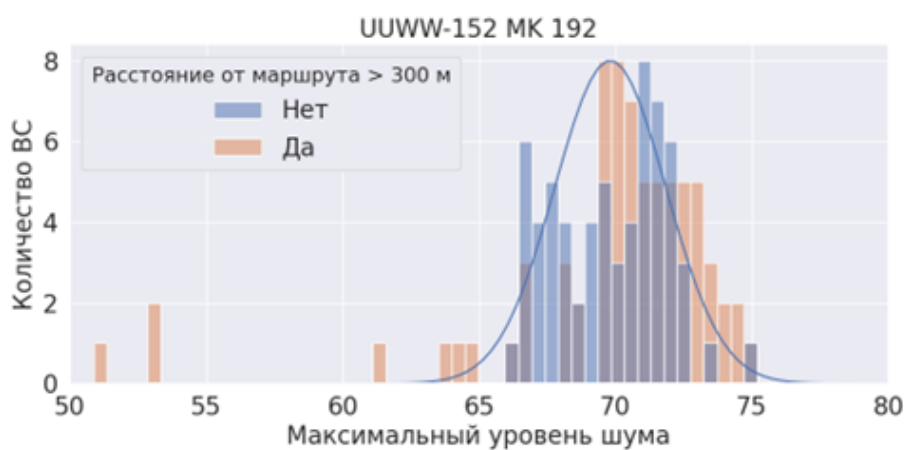


Рис. 7. Гистограмма максимальных уровней шума ВС при взлете с МК=192° вдоль маршрута UUWW-152 с группировкой отклонившихся ВС от маршрута



Рис. 8. Гистограмма максимальных уровней шума ВС при взлете с МК=237° вдоль маршрута UUWW-152 с группировкой отклонившихся ВС от маршрута

Как можно заметить, на рисунках 6-8 присутствует явная зависимость между зафиксированными значениями уровней шума и величиной отклонений ВС от установленных маршрутов. Также, на основании полученных гистограмм можно сделать вывод о влиянии отклонений ВС на уровни шума. Например, на рисунке 8 видно, что отклонения ВС, осуществляющих взлет вдоль маршрута UUWW-152 с $МК=237^\circ$, приводят к значительному повышению как максимально зафиксированного уровня шума, так и его средней величины. И как итог, влияние ВС, выполняющих полеты с $МК=237^\circ$ и не выдерживающими установленных в АНПА схем маневрирования, соответствует и даже зачастую превосходят уровни шума ВС, выполняющих взлет с $МК=192^\circ$, хотя маршруты взлета с $МК=237^\circ$ находятся на значительном удалении от места проведения мониторинга.

Необоснованное и непредсказуемое выполнение полетов со значительными отклонениями от установленных схем делает невозможным проведение оценки и прогнозирования уровней шума на местности, так как данные отклонения ВС от стандартных схем носят случайный характер. Более того, при формировании сценария эксплуатации аэродрома в целях обоснования седьмой подзоны приаэродромной территории (далее – ПАТ) [3], значительно отклоняющиеся от определенных в АНПА схем взлета с $МК=237^\circ$ ВС не будут учтены при обосновании границ седьмой подзоны ПАТ, что в последующем приведет к нарушению указанными ВС границ шумовой зоны и, как следствие, установлению требований по ограничению эксплуатации аэродрома.

Для визуальной оценки влияния отклонений ВС на рисунке 9, представленные линии пути ВС были сгруппированы по цветам, соответствующим уровню шумового воздействия на место проведения мониторинга.

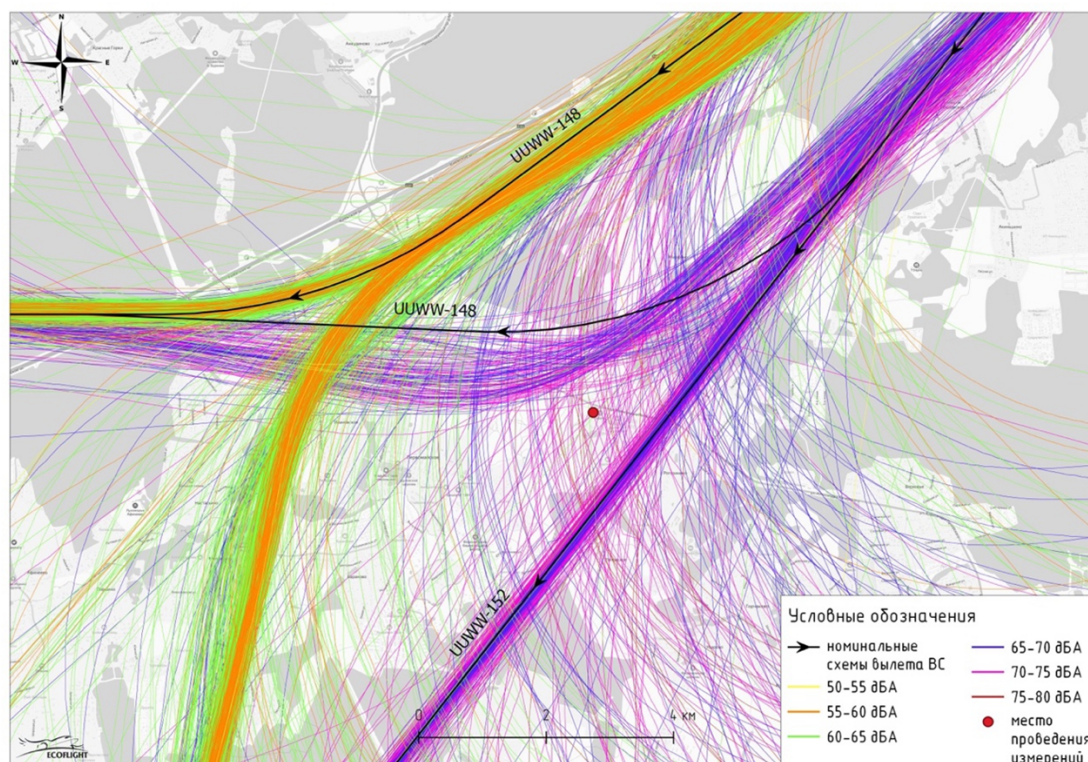


Рис. 9. Визуализация влияния отклонений ВС от принятых в АНПА схем выполнения полетов на уровень шума в месте проведения мониторинга

Для оценки количественного вклада ВС, выполняющих полеты с отклонениями от установленных АНПА схем маневрирования при взлете с МК=237° на шумовую обстановку проведен расчет эквивалентного уровня шума как с учетом данных ВС, так и при формировании сценария при котором данные ВС были исключены из расчета среднего максимального уровня шума (условно данные ВС выполняли полеты вдоль установленной схемы). Результаты оценки средних максимальных и эквивалентных уровней шума, при заданной интенсивности полетов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Результаты мониторинга авиационного шума

п/п	МК	$\bar{L}_{Амакс}$	$\bar{\tau}_{эф.}$	Интенсивность	$L_{Аэкв д.}$	$L_{Аэкв н}$	$L_{Адн}$
	1	2	3	4	5	6	7
1	237° (с учетом отклонившихся ВС)	64,8	19	100% (200/67)	53	51,3	57,6
2	237° (без учета отклонившихся ВС)	62,1	22	100% (200/67)	50,9	49,2	55,6
3	192	71,4	14	100% (200/67)	58,3	56,5	62,9

Заключение

В рамках проведения исследований было проанализировано 2005 траекторий взлета ВС Boeing 737-800 авиакомпании «Победа», из них 1477 траекторий соответствуют взлетным операциям с МК=237° и 528 соответствуют операциям с МК=192°.

За исследуемый период 16% ВС выполнили взлет без учета принятых в АНПА маршрутов, то есть на удалениях более 2000 м от стандартных схем. Данный факт говорит о систематическом отклонении ВС в данной зоне, что приводит к значительному ухудшению шумовой обстановки как для рассматриваемой территории, так и для иных территорий, над которыми осуществляются полеты вне установленных маршрутов аэродрома Внуково, и как следствие, данный характер выполнения полетов приводит к необоснованному увеличению шумового влияния для данной территории.

Из результатов проведенной оценки следует, что для исследуемой территории отклонения ВС, осуществляющие взлетные операции вдоль схемы UUWW-148 с МК=237° приводят к увеличению среднего максимального уровня шума до 2,7 дБА, и эквивалентного уровня звука до 2 дБА – указанный параметр определяет, что фактическая шумовая зона будет отклонена от ожидаемой расчетной. Выполнение полетов вдоль схемы UUWW-148 с МК=192° осуществляется с отклонениями ВС до 700 м от установленной схемы в АНПА, что в конечном итоге сокращает расстояния от источника шума до места проведения мониторинга и влечет за собой увеличение среднего максимального уровня шума до 1 дБА.

Влияние профиля набора высоты на уровень шума в выбранном месте проведения мониторинга имеет минимальное влияние из-за своего положения относительно траекторий движения ВС, что в свою очередь позволило получить неискаженные данные о зависимости горизонтальных отклонений ВС на уровни шума для выбранной территории.

Проведенная оценка уровней шума и фактических траекторий полетов ВС демонстрирует, что в сложившейся на текущий момент ситуации с условиями осуществления полетов в районе аэродрома Внуково, выполнение достоверной оценки уровней шумового воздействия на местности и разработки 7-й подзоны ПАТ расчетным способом, невозможно [8, 9]. Это вызвано отсутствием стандартизированного способа сбора и предоставления информации о фактическом режиме эксплуатации аэродрома, и как следствие, отсутствие актуальных исходных данных для моделирования уровней АШ, как для отдельных территорий, так и для всей территории ПАТ.

Продемонстрированный функционал и заложенные принципы сбора и обработки информации в систему мониторинга шума Ecoflight Monitoring позволяет проводить работы по оценке влияния пространственных параметров выполнения полетов на шумовую обстановку вблизи аэродрома. Данный функционал может и должен быть использован для целей оптимизации маршрутов выполнения полетов для минимизации негативного шумового влияния полетов ВС на территорию вблизи аэродрома.

Список литературы

1. 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.)
2. Методика установления седьмой подзоны приаэродромной территории, расчета и оценки рисков для здоровья человека, утверждена приказом Роспотребнадзора №664 от 7.12.2022 г. (актуализированные МР 2.5/4.3.0258-21).
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. Дос 9911, ИКАО, «Руководство по рекомендуемому методу расчета контуров шума вокруг аэропортов», 2008 г.
5. Патент на изобретение №2775874: «Способ и система мониторинга авиационного шума», 2021 г.
6. Сертификат об утверждении типа средств измерений №83653-21: Комплексы контроля акустического шума автоматизированные EcoFlight 14.11.
7. Аэронавигационный паспорт аэродрома Москва (Внуково).
8. 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.
9. 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.

References

1. 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)

2. 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.

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. Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports (Doc 9911), 2nd Edition, 2018.

5. Patent for invention No. 2775874: "Method and system for monitoring aircraft noise", 2021

6. Aeronautical passport of the airfield Moscow (Vnukovo).

7. Type approval certificate for measuring instruments No. 83653-21: Automated acoustic noise control systems EcoFlight 14.11

8. 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.

9. 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.