

УДК: 534.6
OECD: 1.03 AA

Характер снижения авиационного шума с увеличением расстояния до летального аппарата

Фиев К.П.^{1*}, Иванов Н.И.², Тюрина Н.В.³

¹Старший преподаватель, ^{2,3}Профессор, д.т.н.

^{1,2,3}Кафедра «Экология и производственная безопасность», Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований авиационного шума. Проанализирован характер снижения уровней звука (УЗ) в момент разбега летального аппарата (ЛА) по взлетно-посадочной полосе (ВПП) с удвоением расстояния от ЛА в пределах 100–800 м. Рассмотрены особенности затухания авиационного шума при пролете ЛА над жилой застройкой, расположенной в пределах 5–25 км от аэропорта. Установлено, что уменьшение УЗ при увеличении расстояния от ВПП в границах аэропортов определяется в основном дивергенцией звука, которая носит сложный характер.

Установлено снижение УЗ на 3 дБА (характерное для цилиндрической звуковой волны) при удвоении расстояния от ЛА до точки измерения (ТИ), расположенной на расстоянии от 100 до 200 м; снижение УЗ на 4–5 дБА при удвоении расстояния с 200 до 400 м (квазицилиндрический фронт звуковой волны); снижение УЗ на 6–7 дБА при увеличении расстояния от ЛА до ТИ с 400 до 800 м (характерное для сферической звуковой волны).

Представлены результаты натурных замеров шума летательных аппаратов в границах санитарно-защитных зон аэропортов и на более значительных расстояниях. В ряде случаев установлено превышение максимальных УЗ, измеренных в ночное время, до 5 дБА над допустимыми санитарными нормами для территории жилой застройки, в частности, при расположении точек измерения на территории жилой застройки, находящейся на расстоянии до 25 км от аэропорта, в ночное время при пролете ЛА зафиксированы максимальные УЗ в диапазоне 60–65 дБА.

Ключевые слова: уровень звука, авиационный шум, аэропорт, летательный аппарат, взлетно-посадочная полоса.

The nature of aviation noise reduction with increasing distance from an aircraft

Fiev K.P.^{1*}, Ivanov N.I.², Tyurina N.V.³

¹Senior Lecturer, ^{2,3} Professor

^{1,2,3}Department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University 'VOENMEH',
St. Petersburg, Russia

Abstract

Results of experimental studies of aircraft noise are presented. The nature of sound levels decrease emitted during the aircraft's takeoff with a doubling of the distance from the aircraft within 100–800 m is analyzed. Aircraft noise levels measured in residential areas located within 5–25 km from the airport are considered. It has been found that noise decrease within the boundaries of airports is mainly determined by sound divergence, which is complex in nature. Noise decrease by 3 dBA with distance doubling (characteristic for a cylindrical sound wave) was found when the distance from the aircraft to the measuring point is in the range of 100 to 200 meters; noise decrease by 4–5 dBA is found when the distance was doubled from 200 to 400

*E-mail: fkp@iakbarier.ru (Фиев К.П.)

meters (quasi-cylindrical sound wave); noise decrease by 6-7 dBA is measured when distance increases from 400 to 800 meters (what corresponds to a spherical sound wave propagation). Aircraft noise full-scale measurement results within sanitary protection zones of several airports and at the longer distances are presented. In some cases, aircraft maximal noise levels measured at night time exceed permissible levels for residential areas by 5 dBA. In particular, maximal noise levels in the range of 60-65 dBA were measured at night time in residential areas located at a distance up to 25 km from an airport.

Keywords: sound level, aviation noise, airport, aircraft, runway.

Введение

Проблеме снижения авиационного шума посвящен ряд исследований [1-8], содержащих, в том числе, анализ влияния расстояния от летательного аппарата (ЛА) на шум в расчетной точке (РТ). В большинстве исследований ЛА рассматривается как точечный источник шума, при удвоении расстояния, от которого фиксируется снижение уровня звука (УЗ) на 6 дБА. Авторы обращают внимание на роль молекулярного затухания в рассматриваемых процессах, но представленные выводы, на наш взгляд, выглядят неоднозначно. С целью анализа закономерностей снижения шума с расстоянием и уточнения природы затухания авиационного шума проведены экспериментальные исследования.

1. Характер затухания авиационного шума с увеличением расстояния до летального аппарата в пределах аэропорта

Для получения закономерностей снижения шума при увеличении расстояния от ЛА до точки наблюдения проведены 2 этапа измерений. На первом этапе изучались закономерности снижения эквивалентных и максимальных УЗ в процессе разбега самолёта по ВПП и на этапе взлёта. Измерения в рамках первого этапа проводились в пределах аэропорта вблизи ВПП (на расстояниях менее 1 км от ЛА) и их основной целью было определить характер изменения фронта звуковой волны при разбеге ЛА по ВПП, а также характер изменения шума в ТН при отрыве ЛА от ВПП.

На втором этапе изучались закономерности и механизм снижения шума на расстояниях более 5 км от аэропорта с целью определения предела слышимости отдельного ЛА при удалении от аэропорта.

Изучение закономерностей изменения звукового поля проводилось в аэропорту «Пулково» вблизи ВПП по схеме, приведенной на рисунках 1 и 2.

Всего для измерений шума были выбраны 4 точки, расположенные в перпендикулярном к ВПП направлении, ось точек измерения (ТИ) располагалась примерно в середине ВПП. Самая близкая к ВПП точка измерения была расположена на расстоянии 100 м от ВПП, а остальные 3 точки располагались на удвоенных расстояниях каждая (соответственно на 200, 400 и 800 м от ВПП). Всего выполнено восемь серий измерений.

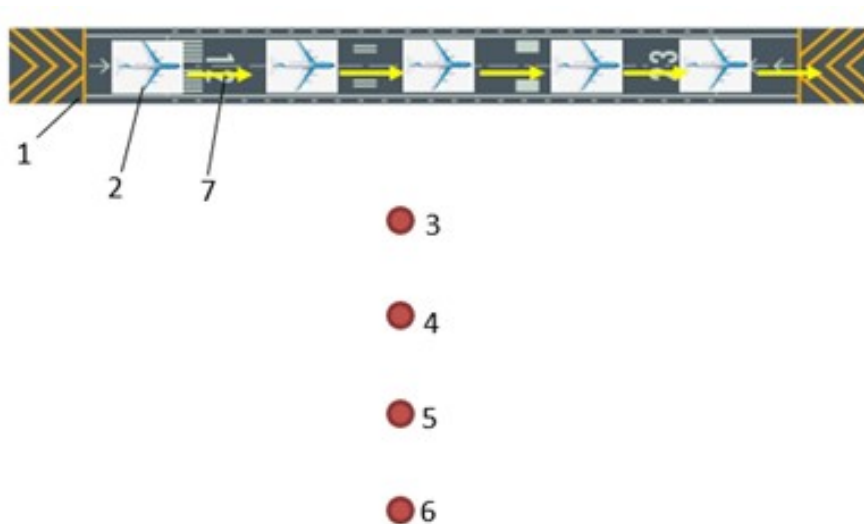


Рис. 1. Схема измерения эквивалентных и максимальных УЗ при удалении от ВПП: 1 – ВПП, 2 – ЛА, 3 – точка измерений (ТИ 1) на расстоянии 100 м от ВПП, 4 – ТИ 2 (200 м), 5 – ТИ 3 (400 м), 6 – ТИ 4 (800 м), 7 – направление движения ЛА



Рис. 2. Схема измерения уровней звука при удалении от ВПП (3,4,5,6 – точки измерений)

Результаты измерений для восьми ЛА и анализ закономерностей снижения шума с расстоянием от ЛА при разбеге по ВПП и взлете приведены в таблице 1. Обработка полученных результатов показала, что распространение авиационного шума носит сложный характер (Рис. 3).

Таблица 1

Значения эквивалентных и максимальных УЗ в зависимости от удаления от ЛА

Номера испытываемых ЛА	Расстояние от ЛА (ВПП), м	Уровни звука, дБА	
		Эквивалентные	Максимальные
1	100	78	86
	200	75	83
	400	70	79
	800	64	74
2	100	80	88
	200	77	86
	400	73	81
	800	67	76
3	100	75	82
	200	72	79
	400	67	74
	800	60	68
4	100	79	89
	200	75	86
	400	70	81
	800	63	76
5	100	80	88
	200	77	84
	400	72	79
	800	66	73
6	100	79	87
	200	75	84
	400	70	80
	800	63	73
7	100	78	88
	200	75	86
	400	71	82
	800	66	76
8	100	76	87
	200	73	84
	400	69	80
	800	64	75

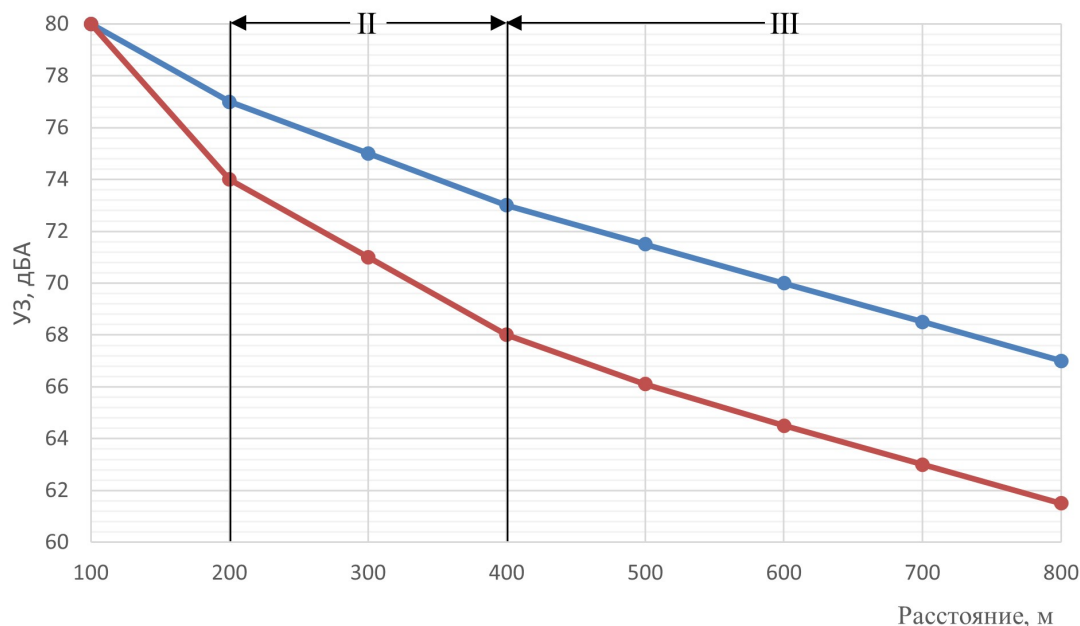


Рис. 3. Характер снижения УЗ, дБА с увеличением расстояния до ВПП: 1 – эксперимент; 2 – расчет (источник шума ЛА принят точечным излучателем звука); I – участок экспериментальной кривой, где фронт звуковой волны цилиндрический (снижение УЗ на 3 дБА); II – участок экспериментальной кривой, где фронт звуковой волны квазицилиндрический (снижение УЗ на 4-5 дБА); III – участок экспериментальной кривой, где фронт звуковой волны сферический (снижение УЗ на 6-7 дБА)

Отмечается снижение УЗ на 3 дБА при первом удвоении (от 100 до 200 м), снижение на 4-5 дБА при втором удвоении (от 200 до 400 м) и 6-7 дБА при третьем удвоении (от 400 до 800 м). Таким образом, фронт звуковой волны ИШ меняется от цилиндрического к квазицилиндрическому, а затем к сферическому, и эта закономерность прослеживается как для эквивалентных, так и для максимальных УЗ. Это означает, что при расчётах снижения шума для объектов, расположенных вблизи ВПП, необходимо источник шума (летательный аппарат) в процессе разбега по ВПП принимать линейным источником шума на расстояниях до 500 м.

На основании анализа полученных экспериментальных данных сделан вывод о том, что при разбеге ЛА в процессе шумообразования, кроме самого летательного аппарата, участвует и ВПП, являясь вторичным источником звука. Учитывая высокую скорость разбега ЛА при взлете, фиксируется отражение звука от ВПП значительной длины. Таким образом, фронт звуковой волны формируется сложным излучателем, состоящим из ЛА и ВПП, который близок к цилиндрическому.

2. Снижение авиационного шума с увеличением расстояния от аэропорта до жилой застройки

На втором этапе экспериментальных исследований были выполнены измерения шума ЛА, вылетевших из в нескольких аэропортов («Домодедово», «Пулково», «Анапа»). Точки измерений выбирались достаточно произвольно в городах Москва, Санкт-Петербург, Анапа, в Московской и Ленинградской областях. С целью получения достоверных результатов количество измерений составило более 500. При измерениях фиксировалось удаление измеряемого ЛА от аэропорта, которое находилось в пределах от 5 до 25 км. Измеряемые характеристики на обоих этапах: эквивалентные и максимальные УЗ, дБА.

В связи с меняющейся интенсивностью полетов в течение суток (дневного и ночного времени), дней недели, месяцев года наиболее объективными и достоверными для оценки являются эквивалентные уровни звука, полученные прямыми измерениями акустических событий (пролетов ВС) за вышеуказанные периоды (например, день/ночь, месяц, год) системами мониторинга авиационного шума.

Измерения были выполнены в соответствии с разработанной авторами методикой измерения авиационного шума [10, 11].

Результаты измерений эквивалентного и максимального УЗ для нескольких аэропортов приведены в таблице 2. Исследования были проведены в 20 населённых пунктах (в д. Низино измерения проводились только в ночное время). При этом были указаны марки самолётов и вертолётов (ЛА), которые осуществляли полёты над каждым населённым пунктом. В таблице 3 приведены усреднённые данные по ЛА.

Таблица 2

Результаты измерения уровней звука на прилегающих к аэропортам селитебных территориях

Населенный пункт	Расстояние до аэропорта, км	УЗ, дБА				Описание ЛА
		День		Ночь		
		Экв.	Макс.	Экв.	Макс.	
Москва и Московская область, Домодедово						
Гостиничный комплекс «Орловский», д. Орлово	15,33	49-51	68-70	45	60-62	Авиатранспорт различных компаний (российских и зарубежных), аэропорта Домодедово
Санкт-Петербург и Ленинградская область, Пулково						
д. Низино	2,05	-	-	51	50-75	B73H, AT72, A320, DH8D, A319, CL30, E170, B744, B736, CRL2, B752
Санкт-Петербург, пересечение ул. летчика Пилютова и пр. Народного Ополчения	5,85	57-62	55-80	46-60	50-80	GALX, GLF5, LJ60, AN24, CRJ2, A320, A321, E170, CRJ1, A319, B735, B738, B773, B73H, B73W, DH8D, C56X, B77L, D73G, F900, CL30, T204, B772
Санкт-Петербург, ул. Краснопутиловская	6,49	51-60	69-72	-	-	Ми-8, Eurocopter AS-355N

Санкт-Петербург, улица Партизана Германа	6,72	53-63	50-80	48-60	55-80	CRJ2, A319, A320, A321, E170, B735, B752, B773, B73W, BE40, B763, GALX, GLF5, LJ60; B73H, AN24, F900, E190, CL30, B77L, E145, C25A, YK42, A333, T204, SU95, F100, CL60
п. Шушары	6,76	55-63	60-80	49-59	50-80	A321, CRJ2; A319, A320, B736, B773, B73H, B772, CRJ2, FA7X; E170, LJ30, B73W, E190, F900, B73H, C56X, F100, C25B, A333, DH8D
Санкт-Петербург, Петербургское шоссе	7,67	54-55	50-70	49-57	65-80	A320, A321, CRJ2; A319, B736, B773, B74H, B772 FAS8X, B73H, B738, A148, FA7X, YK42
Санкт-Петербург, МО Горелово, 4-я линия	8,34	49-57	45-75	49-57	45-75	A321, CRJ2; A319, A320, B736, B773, B73H, B772, CRJ2, FA7X; E170, C56X, DH8D, B777, E190, F900, GLF5, B77L
Санкт-Петербург, гаражный комплекс «Дружба»	9	55-63	50-80	54-59	55-80	CRJ2, A319, A321, B73W, B735, E170, B752, B773, BE40, E190, A321, B763, C56X, B77L, DH8D, B73G, G150
п. Новоселье	10,65	56-62	50-75	50	40-70	E135, CRJ2, A319, A320, B738, E145, B728, B735, B73H, CL60, AN24, CL30, FA7X, SU95, GLF6
Санкт-Петербург, Волхонское шоссе	10,7	54-58	50-75	55-56	55-80	CRJ2, B73W, B735, E170; A319, B773; B752, BE40; E190, A320, A321, B763, GALX, GLF5, LJ60, AN4, DH8D, B77W, C56X, B73H, B77L; YK42, GLEX, F100, CLF4

г. Пушкин	12,27	47-55	50-80	43-52	40-70	A319, A320, A321, B773, B772, CRJ2; B73H, FA7X, E170, B738, B736, B735
п. Ленсоветовский	12,35	51-56	50-75	44-52	50-70	A320, A321, CRJ2; B772, A319, B773, FA7X, B73H, LJ30, B77W, A148, FA7X
п. Стрельна	13,84	56-61	50-70	49-54	60-75	A319, A320, A321, FA7X, CRJ2, SU95, E145, GLF6, B738, B735, E135, B73H, CL60, AN24, CL30, B77W, A333, E190. B744, E170
Ленинградская область, д. Верхняя Колония	14,35	51-53	45-70	50	60-70	CL60, CRJ2, FA7X, A319, CL30, GLF6, A320, AN24, SU95, E145, A321, B735, E135, B73H, B77W, A333, AT72, F900
д. Ольгино	19,60	51	50-70	48-53	50-75	A319, A321, B73W, AT72, B73H, B735, E175, B73G, E135, CRJ2, CL30, 195
г. Колпино	20,26	47-57	50-75	50-52	50-70	A319, A321, E190, E170, CL60, E135, A320, CRJ2, CL35, GLEX, B733, CRJ2, B735, B73H, A333, F2TH, E190
Санкт-Петербург, г. Петергоф	23,18	49-56	50-70	45-52	40-72	A319, A320, A321, E135, B73H, GLF6, B738, CL30, SU95, E145, B735, CL60, E135, AT72
п. Красный бор	25,45	49	40-70	43	45-55	A319, CRJ2, F73H, B735, H25B, B735, CRJ2, SU95, E190, AN26, PRM1, E170, F2TH, A319, GLEX, A321 B738, A321, A320, E195, CRJ1, AT72, E135

Сводные данные по результатам измерений уровней шума летательных аппаратов на расстоянии от 5 до 25 км от аэропортов представлены на рисунках 4–7. При оценке акустической обстановки на селитебной территории учтены нормативные требования по

ГОСТ 22283-2014 [12] и СанПиН 1.2.3685-21 [13].

Согласно представленным графикам в дневное время суток по эквивалентному уровню звука превышения над нормами по ГОСТ 22283-2014 [12] и СанПиН 1.2.3685-21 [13] на селитебной территории наблюдаются в 94% случаев при измерениях на расстоянии от 5 до 25 км от аэропортов. Максимальные уровни звука в дневное время суток в 95% случаев удовлетворяют требованиям нормативных документов.

В ночное время суток превышения по эквивалентному уровню звука на селитебной территории по ГОСТ 22283 – 2014 [12] и СанПиН 1.2.3685 – 21 [13] наблюдаются в 84% случаев, максимальных уровней звука в 26% и 52% случаев, соответственно.

Рассмотрим более подробно данные, представленные на рисунках 4 – 7. Можно предположить, что на заметных расстояниях от аэропорта фронт звуковой волны приближается к плоскому, а процессы уменьшения шума с расстоянием определяются только молекулярным затуханием. Косвенно это подтверждает большой разброс результатов на каждом графике: молекулярное затухание зависит не только от расстояния, но и от температуры, влажности воздуха, скорости и направления движения воздушных потоков и прочего, что приводило к существенной неопределённости результатов.

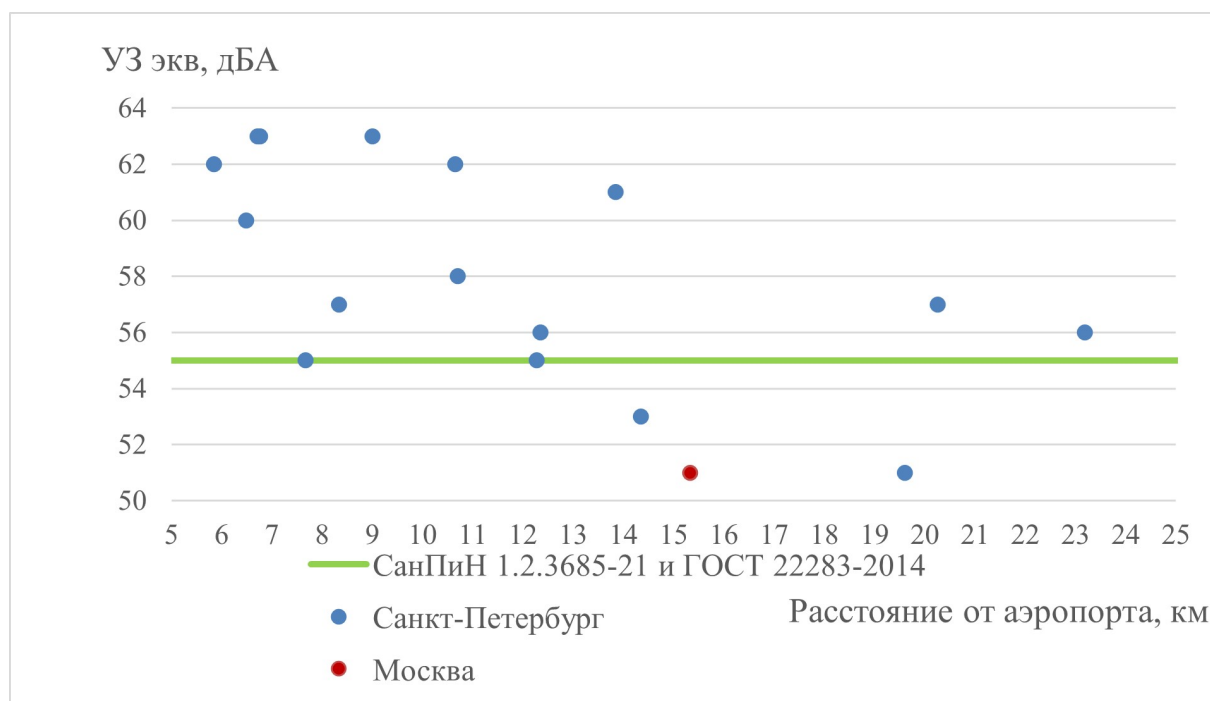


Рис. 4. Измеренные эквивалентные уровни звука в дневное время суток на различном расстоянии от аэропортов и нормативное значение эквивалентного уровня звука

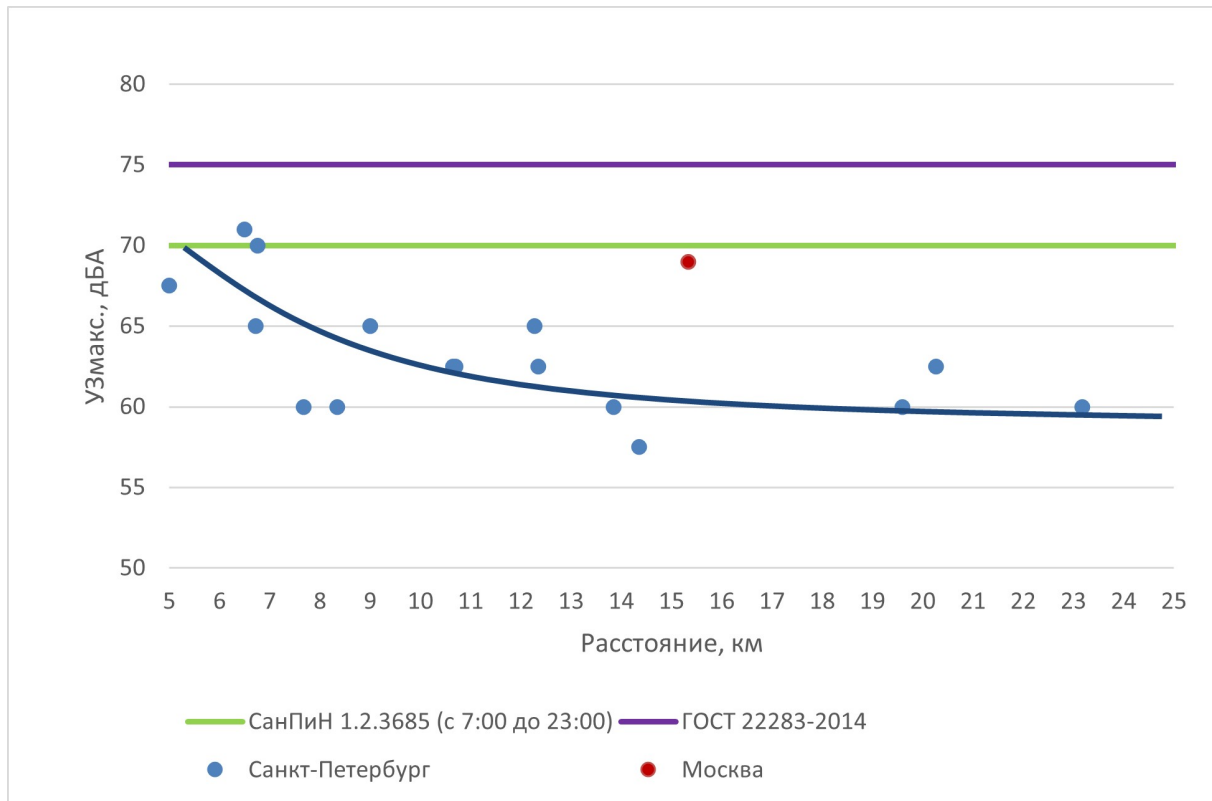


Рис. 5. Измеренные максимальные уровни звука в дневное время суток на различном расстоянии от аэропортов и нормативное значение максимального уровня звука для территории жилой застройки

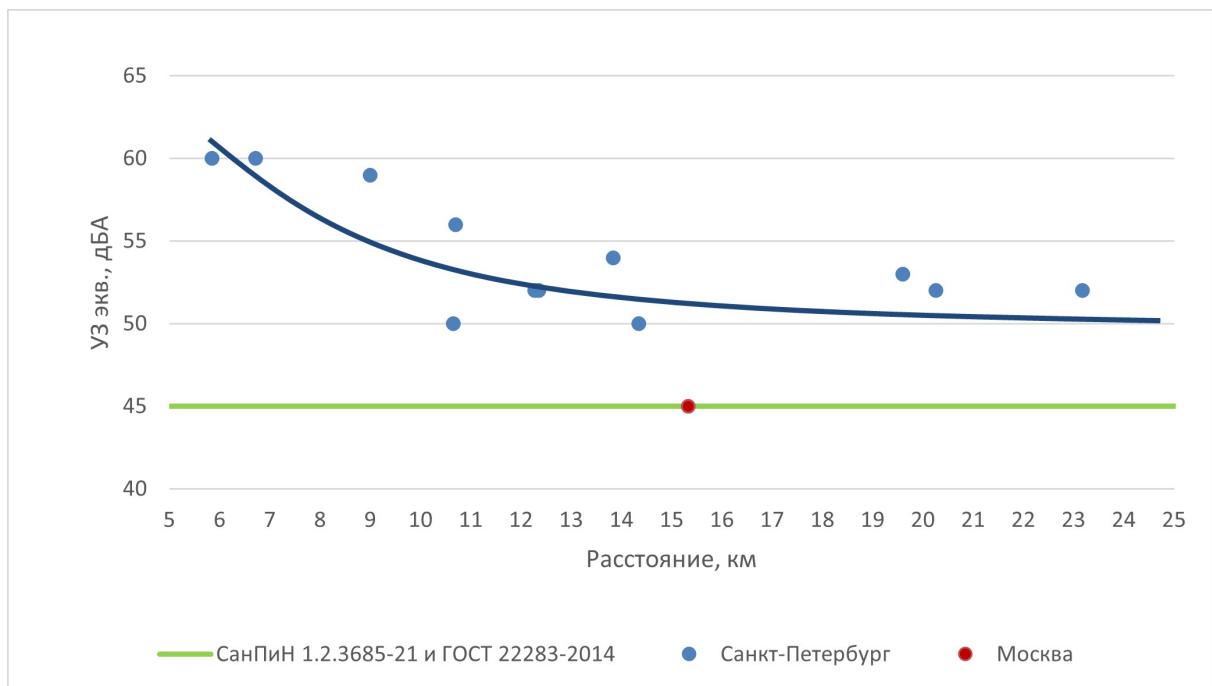


Рис. 6. Измеренные эквивалентные уровни звука в ночное время суток на различном расстоянии от аэропортов и снижение УЗ с расстоянием

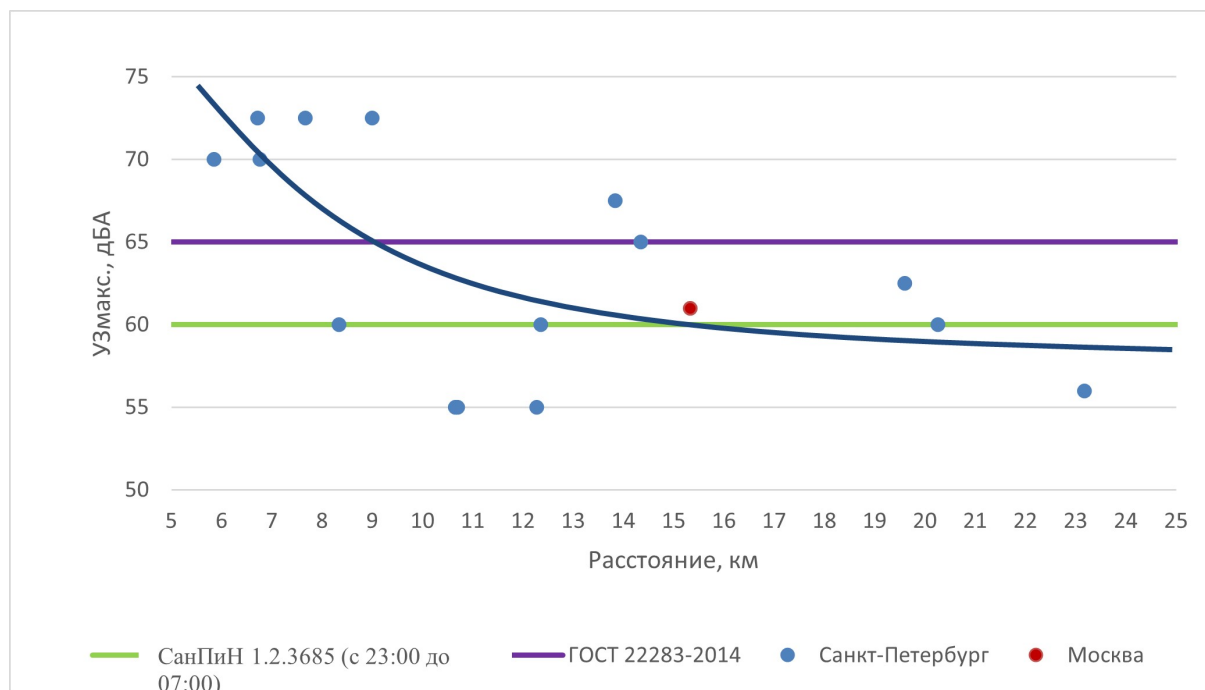


Рис. 7. Измеренные максимальные уровни звука в ночное время суток на различном расстоянии от аэропортов

Заключение

С целью анализа закономерностей снижения шума с расстоянием и уточнения природы затухания авиационного шума авторами проведены экспериментальные исследования, в ходе которых было проанализировано снижение шума с увеличением расстояния от ВПП и с увеличением расстояния до аэропорта. При увеличении расстояния от ВПП было выявлено снижение УЗ на 3 дБА при первом удвоении (от 100 до 200 м), снижение на 4-5 дБА при втором удвоении (от 200 до 400 м) и 6-7 дБА при третьем удвоении (от 400 до 800 м). Таким образом, согласно полученным данным сделан вывод о том, что фронт звуковой волны ИШ меняется от цилиндрического к квазицилиндрическому, а затем к сферическому, и эта закономерность прослеживается как для эквивалентных, так и для максимальных УЗ. Это означает, что при расчётах снижения шума для объектов, расположенных вблизи ВПП, необходимо источник шума – ЛА в процессе разбега по ВПП принимать линейным источником шума на расстояниях до 500 м. При увеличении расстояния до аэропорта можно увидеть, что УЗ снижаются приблизительно на 10 – 15 дБА при увеличении расстояния от 5 до 25 км, что не вполне подчиняется закону дивергенции для точных источников звука. Сделан вывод, что на заметных расстояниях от летательного аппарата до нормируемого объекта фронт звуковой волны приближается к плоскому, а процессы уменьшения шума с расстоянием определяются только молекулярным затуханием. Косвенно это подтверждает большой разброс результатов на графиках, так как молекулярное затухание зависит не только от расстояния, но и от температуры, влажности воздуха, скорости и направления движения воздушных потоков и прочее, что приводит к существенной неопределённости результатов.

Список литературы

1. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Н.И. Иванов // Учебник. - 2008.
2. Авиационная акустика / под ред. А.Г. Мунина. // Машиностроение, 1986.
3. Опыт снижения авиационного шума вблизи аэропортов / О.А. Картышев // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием под редакцией Н.И. Иванова. – 2011. – С. 133 – 136.
4. Контроль и снижение шума аэропорта «Пулково»/ Н.И. Иванов, М.В. Буторина, А.Е. Шашурин // Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием под редакцией Н.И. Иванова. – 2011. – С. 568 – 579.
5. Критерии оценки авиационного шума для зонирования приаэродромной территории аэропортов и обоснования защитных мероприятий / О.А. Картышев, Н.И. Николайкин // Научный вестник МГТУ ГА – 2017; 20(3): с. 30 – 40.
6. Рекомендации по регулированию зонирования приаэродромной территории и ограничений размещения на ней объектов застройки из условий воздействия авиационного шума / О.А. Картышев // Тезисы докладов XX научно-технической конференции по аэроакустике (24–29 сентября 2023 г.) М.: Центральный аэрогидродинамический институт им. проф. Н.Е. Жуковского – 2023 – с. 259 – 260.
7. Мошков П.А. Основные подходы к экспериментальным исследованиям шума винтовых летательных аппаратов самолетного типа. Обзор // *Noise Theory and Practice*. – 2023. - N 9(1). - С. 92-101.
8. Крылов В.В. Георгиев В.Б., Дженсен К.А. Численное и экспериментальное моделирование структурного внутреннего шума самолета // *Noise Theory and Practice*. -2017. - N 3(2). - С. 2-16.
9. ICAO Doc 9911 «Руководство по рекомендуемому методу расчета контуров шума вокруг аэропортов» / Международная организация гражданской авиации – 2018.
10. Методика измерений уровней авиационного шума с целью оценки его влияния на приаэродромную территорию при отклонении фактической линии пути от установленных процедур взлета / В.В. Светлов, К.П. Фиев // Сборник трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита от шума и вибрации». – 2017. – С. 357-360.
11. Методика измерения авиационного шума, учитывающая влияние отклонения воздушных судов от стандартных маршрутов взлета / В.В. Светлов, К.П. Фиев // Акустика среды обитания. Вторая всероссийская конференция молодых ученых и специалистов АСО-2017, сборник трудов. – 2017. – С. 234-240.
12. ГОСТ 22283-2014 «Шум авиационный. Допустимые уровни шума на территории жилой застройки и методы его измерения» // Межгосударственный стандарт – 2014.
13. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» / Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главный государственный санитарный врач российской федерации // Постановление. – 2021.

1. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control /N.I. Ivanov //Textbook. -2008.
2. Aviation acoustics / edited by A.G. Munin. // Mechanical Engineering, 1986.
3. The experience of reducing aviation noise near airports / O.A. Kartyshev // Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Edited by N.I. Ivanov – 2011 – pp. 133 – 136.
4. Control and noise reduction of Pulkovo airport/ N.I. Ivanov, M.V. Butorina, A.E. Shashurin // Proceedings of the III All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Edited by N.I. Ivanov – 2011 – pp. 568 – 579.
5. Criteria for assessing aviation noise for zoning the airfield area of airports and justification of protective measures / O.A. Kartyshev, N.I. Nikolaikin // Scientific Bulletin of MSTU GA – 2017; 20(3): pp. 30-40.
6. Recommendations on the regulation of the zoning of the airfield area and restrictions on the placement of buildings on it from the conditions of exposure to aviation noise / O.A. Kartyshev // Abstracts of the XX Scientific and Technical Conference on Aeroacoustics (September 24-29, 2023) Moscow: Central Aerohydrodynamic Institute named after prof. N.E. Zhukovsky – 2023 – pp. 259-260.
7. P.A. Moshkov. The main approaches to experimental studies of the noise of aircraft-type propeller aircraft. Review, Noise Theory and Practice, 2023, том 9, (1), с. 92-101.
8. V.V. Krylov, V.B. Georgiev, K.A. Jeysen/ «Numerical and experimental modeling of structural internal noise of an aircraft», Noise Theory and Practice, 2017, том 3, (2), с.2-16.
9. ICAO Doc 9911 «Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports» / International Civil Aviation Organization – 2018.
10. Methodology for measuring aircraft noise levels in order to assess its impact on the aerodrome area when the actual path line deviates from the established take-off procedures / V.V. Svetlov, K.P. Fiev // Proceedings of the VI All-Russian Scientific and practical conference with international participation «Protection from noise and vibration» - 2017 – pp. 357-360
11. The method of measuring aircraft noise, taking into account the influence of aircraft deviation from standard take-off routes /V.V. Svetlov, K.P. Fiev // Proceedings of the Second All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists ASO–2017 «Acoustics of the habitat» – 2017 - pp. 234-240
12. GOST 22283-2014 «Aviation noise. Permissible noise levels in residential buildings and methods of its measurement» // Interstate Standard – 2014.
13. SanPiN 1.2.3685-21 «Hygienic standards and requirements for ensuring the safety and (or) harmlessness of environmental factors for humans» / Federal Service for Supervision of Consumer Rights Protection and Human Well-being, Chief State Sanitary Doctor of the Russian Federation // Resolution. – 2021.