

УДК: 534.6  
OECD: 1.03 AA

## Расчет и исследование экранирующего эффекта сооружений при разбеге самолетов гражданской авиации

Фиев К.П.<sup>1\*</sup>, Буторина М.В.<sup>2</sup>, Тюрина Н.В.<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Старший преподаватель, <sup>2</sup>Профессор, д.т.н., <sup>3</sup>Профессор, д.т.н.,  
<sup>1,2,3</sup>Кафедра «Экология и производственная безопасность», Балтийский государственный  
технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

### Аннотация

В предположении, что самолет гражданской авиации (далее самолет) при разбеге по взлетно-посадочной полосе (ВПП) является линейным источником звука, фронт звуковой волны которого носит цилиндрический или квазичилиндрический характер, были получены формулы расчёта экранирующего эффекта сооружений, расположенных на территории аэропорта. Для вывода формул использовался метод последовательного преобразования звуковых полей. При расчете экранирующего эффекта учитываются звукопоглощающие свойства элементов ЭС, геометрические свойства ЭС (высота, ширина), расстояния от ИШ до ЭС и от ЭС до расчетной точки (РТ), а также показатель дифракции (ПД) экранирующего сооружения. Представлены результаты выполненных на территории аэропорта «Пулково» экспериментальных исследований экранирующего эффекта зданий. Измерения уровней звука и уровней звукового давления проводились на противоположных фасадах зданий, расположенных параллельно и вблизи ВПП, при этом экранирующий эффект составил в среднем 18-25 дБА. Сравнение данных расчета с данными эксперимента показало, что отклонения данных расчёта находится в диапазоне  $\pm 3$  дБА.

**Ключевые слова:** уровень звука, авиационный шум, аэропорт, летательный аппарат, взлетно-посадочная полоса, экранирующие сооружения, источник шума, показатель дифракции.

## *Calculation and study of the shielding effect of structures during the run-up of civil aviation airplanes*

*Fiev K.P.<sup>1\*</sup>, Butorina M.V.<sup>2</sup>, Tyurina N.V.<sup>3</sup>*

*<sup>1</sup>Senior Lecturer, <sup>2</sup>Professor, <sup>3</sup>Professor,  
<sup>1,2,3</sup>Department of Ecology and Industrial Safety, Baltic State Technical University 'VOENMEH',  
St. Petersburg, Russia*

### **Abstract**

Assuming that aircraft moving along the runway during the takeoff is a linear sound source, the wave front of which is cylindrical or quasi-cylindrical in nature, a new method for calculating the shielding effect of structures located on the territory of the airport were obtained. The method of sequential transformation of sound fields was used to derive the equations. The shielding effect equations take into account sound-absorbing properties of the shielding elements and their geometric properties (height and width), the distance from the shielding structure to the noise source, as well as the diffraction index. Experimental studies of the shielding effect of buildings on the territory of Pulkovo airport have been carried out. Measurements were performed on the opposite facades of three buildings located parallel and side by side. The measured shielding effect was

in the range of 18-25 dBA. Comparison of the calculation data with the experimental data showed acceptable accuracy.

**Keywords:** sound level, aircraft noise, airport, aircraft, runway, shielding structures, noise source, diffraction index.

## Введение

Шум в жилой застройке, расположенной вблизи аэропортов, заметно превышает допустимые нормы. Нередко эти превышения достигают 10-15 дБА, т.е. в 2-3 раза по субъективному ощущению громкости превышают допустимые значения. На территории аэропортов располагаются офисные и другие здания, в помещениях которых шум также превышает допустимые нормы. Наибольшие превышения шума отмечаются при разбеге самолетов по взлётно-посадочной полосе (ВПП) и взлёте. При этом разница уровней звука (УЗ) при взлёте и посадке может достигать 9-15 дБА.

Исследованиям авиационного шума посвящены многочисленные работы [1-9]. Одним из эффективных методов снижения шума в близрасположенной жилой застройке является использование экранирующего эффекта сооружений на пути распространения звука от ВПП до жилой застройки. К таким экранирующим сооружениям могут относиться как специально построенные вдоль ВПП акустические экраны, эффективность и конструкции которых описаны в работах [10-15], так и здания различного назначения на территории аэропорта, создающие экранирующий эффект. Если при выполнении расчетов шума на территориях, прилегающих к ВПП, и в помещениях близрасположенных зданий экранирующий эффект застройки не учитывается, возникает искажение результатов расчетов. Авторами предложена методика, позволяющая увеличить точность акустических расчётов.

### 1. Расчет шума на территории прилегающей застройки с учетом экранирующего эффекта зданий при разбеге самолета по взлетно-посадочной полосе

Расчет шума с учетом экранирующего эффекта зданий при разбеге самолета по ВПП выполняется для того, чтобы определить экранирующий эффект зданий и других сооружений, расположенных на территории аэропорта по пути распространения звука от ВПП до жилой застройки. Расчётная схема показана на Рисунке 1.

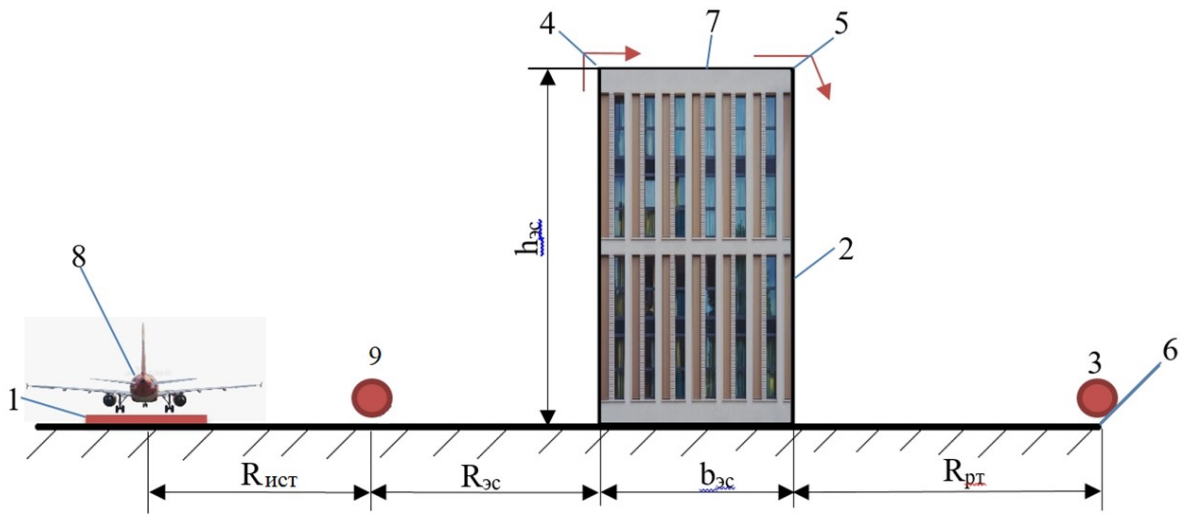


Рис. 1. . Схема расчёта экранирующего сооружения при разбеге самолета по ВПП: 1 – ВПП, 2 – экранирующее сооружение (ЭС), 3 – РТ, расположенная в зоне жилой застройки, 4,5 – левое и правое свободные ребра экранирующего сооружения, соответственно, 6 – опорная поверхность, 7 – верхняя часть экранирующего сооружения, 8 – самолет; 9 – точка измерений (расчета) шума самолета на ВПП;  $\rightarrow$  – дифракция звука.

Особенностями расчёта экранирования являются следующие положения:

1. источником шума (ИШ) является не только самолет, но и часть взлётно-посадочной полосы (ВПП), по которой он движется, за счёт отражения звука от поверхности ВПП;
2. источник шума аппроксимирован как линейный, фронт звуковой волны которого до определённых расстояний имеет характер цилиндрический или квазичилиндрический;
3. излучение звука происходит в полупространство;
4. для расчета использован метод преобразования звуковых полей [16].

Уровни звукового давления в расчетной точке (РТ) за экранирующим сооружением рассчитываются следующим образом:

$$L_{РТ} = L_{ист} - 10lg \frac{h_{эс}}{\lambda} + 10lg (1 - \alpha_{эс}) - 10lg \frac{b_{эс}}{\lambda} + 2ПД + 10lg (1 - \alpha_b) - 10lg \frac{R_{эс} R_{РТ}}{R_{ист} R_0} + K_1 + K_2 + K_3 + K_4 - 10lg \frac{\pi^3}{2}, \text{ дБ} \quad (1)$$

где:

- $L_{ист}$  – уровни звукового давления, измеренные на расстоянии  $R_{ист}$  от ВПП, дБ;
- $l_{эс}$  – длина экранирующего сооружения, м;
- $h_{эс}$  – высота экранирующего сооружения, м;
- $\alpha_{эс}$  – коэффициент звукопоглощения фасада экранирующего сооружения, обращенного к ВПП;
- $b_{эс}$  – ширина экранирующего сооружения, м;
- $\alpha_b$  – коэффициент звукопоглощения верхней части ЭС шириной  $b_{эс}$ ;
- $\lambda$  – длина звуковой волны, м;
- $R_0 = 1 \text{ м}$ .

ПД – показатель дифракции верхних «свободных» ребер экранирующего сооружения (ЭС), получаемый экспериментально и равный  $\text{ПД} = 10\lg\beta_{\text{дифр}}$ , где  $\beta_{\text{дифр}}$  – коэффициент дифракции на свободном ребре (коэффициенты дифракции на каждом из ребер приняты одинаковыми).

$K_1, K_2, K_3, K_4$  – числовые поправки, дБ, зависящие от отношения  $l_{\text{эс}}$  к величине одного из следующих факторов – расстояния от ИШ до ЭС ( $R_{\text{эс}}$ ), высоты ЭС ( $h_{\text{эс}}$ ), ширины ЭС ( $b_{\text{эс}}$ ), расстояния от ЭС до РТ ( $R_{\text{рт}}$ ), в частности:

$$K_1 = 10\lg\left(\text{arctg}\frac{l_{\text{эс}}}{2R_{\text{эс}}}\right),$$

$$K_2 = 10\lg\left(\text{arctg}\frac{l_{\text{эс}}}{2h_{\text{эс}}}\right),$$

$$K_3 = 10\lg\left(\text{arctg}\frac{l_{\text{эс}}}{2b_{\text{эс}}}\right),$$

$$K_4 = 10\lg\left(\text{arctg}\frac{l_{\text{эс}}}{2R_{\text{рт}}}\right),$$

значения этих выражений можно получить, используя данные таблицы 1, подставив вместо  $D$  соответствующие численные значения.

Таблица 1

Вычисленные значения числовых поправок

$l_{\text{эс}}/2D^*$	$\text{arctg}\left(\frac{l_{\text{эс}}}{2D}\right)$	$10\lg\left(\text{arctg}\frac{l_{\text{эс}}}{2D}\right)$ , дБ
1	0,79	-1,1
1,5	0,98	-0,1
2	1,11	0,4
3	1,25	0,9
4	1,33	1,2
10	1,47	1,7

$D^*$  – значение одного из подставляемых параметров  $R_{\text{эс}}, h_{\text{эс}}, b_{\text{эс}}, R_{\text{рт}}$

## 2. Расчет шума с учетом экранирующего эффекта у фасада зданий на территории аэропорта

Расчет шума с учетом экранирующего эффекта зданий на территории аэропорта выполняется для того, чтобы определить экранирующий эффект здания по отношению к его противоположно расположенному фасаду. Таким образом, прогнозируются ожидаемые УЗД на частично защищенной от шума территории вблизи этого здания. Расчетная схема приведена на Рисунке 2.

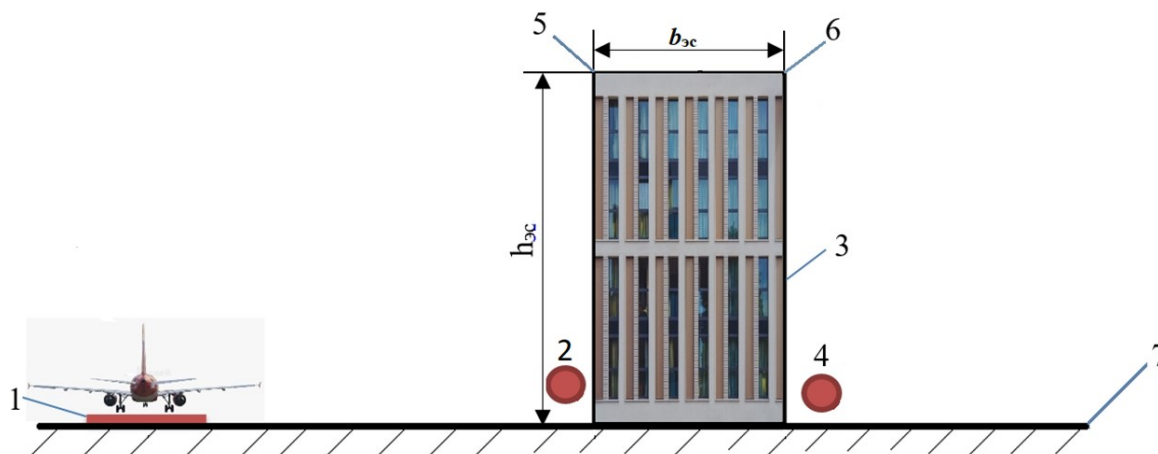


Рис. 2. Схема расчёта экранирующего эффекта здания: 1 – ВПП, 2 – точка измерений вблизи фасада здания для получения исходных УЗД для расчета, 3 – здание (ЭС), 4 – РТ, 5, 6 – свободные ребра ЭС; 7 – опорная поверхность, 8 – верхняя часть ЭС

Особенностями расчета по этой схеме, дополнительно к указанным в разделе 1, являются следующие:

1. в качестве исходной характеристики взяты значения УЗД, полученные на территории, прилегающей к фасаду здания, обращенному к ВПП;
2. экранирующее сооружение расположено параллельно ВПП;
3. расчет экранирующего эффекта выполняется в РТ, расположенной на противоположном фасаде рассматриваемого здания.

Уровни звукового давления в расчетной точке:

$$L_{РТ} = L_n - 10 \lg \frac{h_{эс}}{\lambda} - 10 \lg \frac{b_{эс}}{\lambda} + 10 \lg (1 - \alpha_{эс}) + 10 \lg (1 - \alpha_b) + 2ПД + K_1 + K_2 - 10 \lg \frac{\pi^3}{4} \quad (2)$$

где:

$L_n$  – уровни звукового давления на фасаде здания со стороны ВПП, дБ;

$K_1, K_2$  – числовые поправки, дБ, зависящие от отношения длины ЭС ( $l_{эс}$ ) к одному из следующих факторов - высота ЭС ( $h_{эс}$ ), ширина ЭС ( $b_{эс}$ ), дБ, описанные в формуле (1).

### 3. Теоретические исследования экранирующего эффекта сооружений

Анализируя полученные формулы (1) и (2), отметим, что основными конструктивными факторами, влияющими на снижение шума в РТ, являются высота ( $h_{эс}$ ) и ширина ( $b_{эс}$ ) экранирующего сооружения.

Выполним расчеты изменения УЗД и УЗ при изменении параметров высоты в пределах от 5 м до 40 м и ширины в пределах от 1 м до 10 м. Вычисленные значения изменения УЗД и УЗ при изменении  $h_{эс}$  приведены в таблице 2, а также показаны на рисунках 3 и 4.

Таблица 2

Вычисленные значения  $10\lg \frac{h_{эс}}{\lambda}$

Выбранные значения $h_{эс}$ , м	Вычисленные значения изменения УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Изменение эквивалентных уровней звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
5	0,3	2,7	5,7	8,7	11,7	14,7	17,7	20,7	12
8	1,7	4,7	7,7	10,7	13,7	16,7	19,7	22,7	14
12	3,4	6,5	9,5	12,5	15,5	18,5	21,5	24,6	16
20	5,7	8,7	11,7	14,7	17,7	20,7	23,7	26,7	18
30	7,5	10,5	13,5	16,5	19,5	22,5	25,5	28,5	20
40	8,7	11,7	14,7	17,7	20,7	23,7	26,7	29,7	21

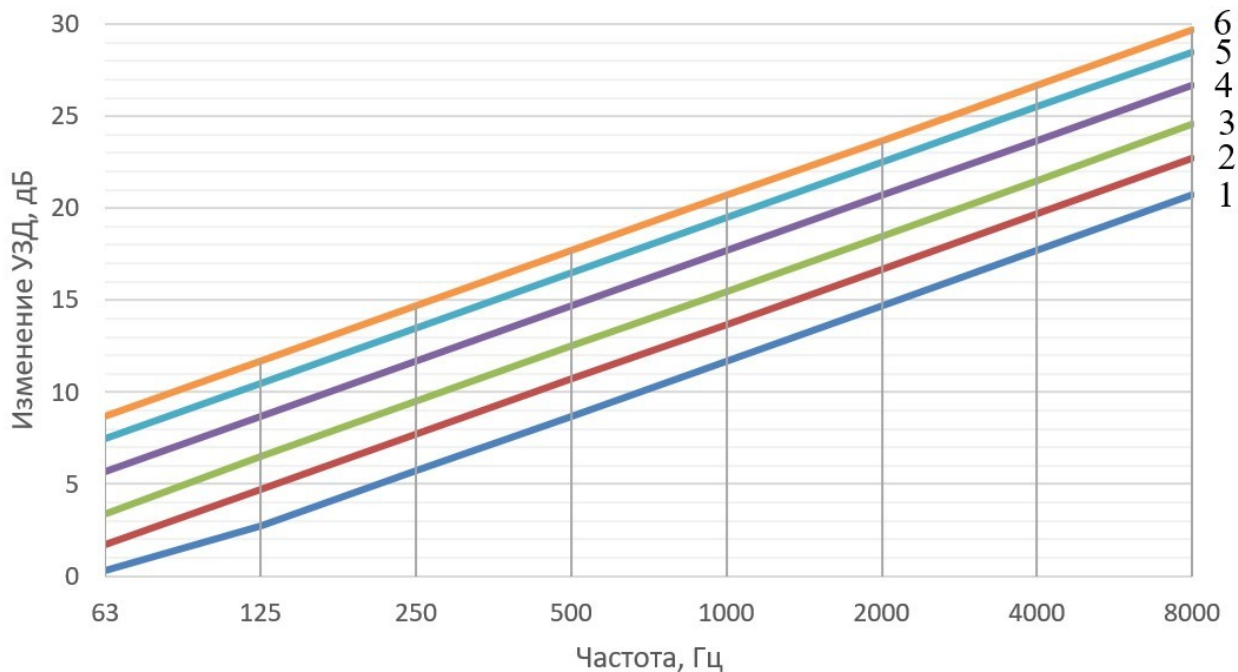
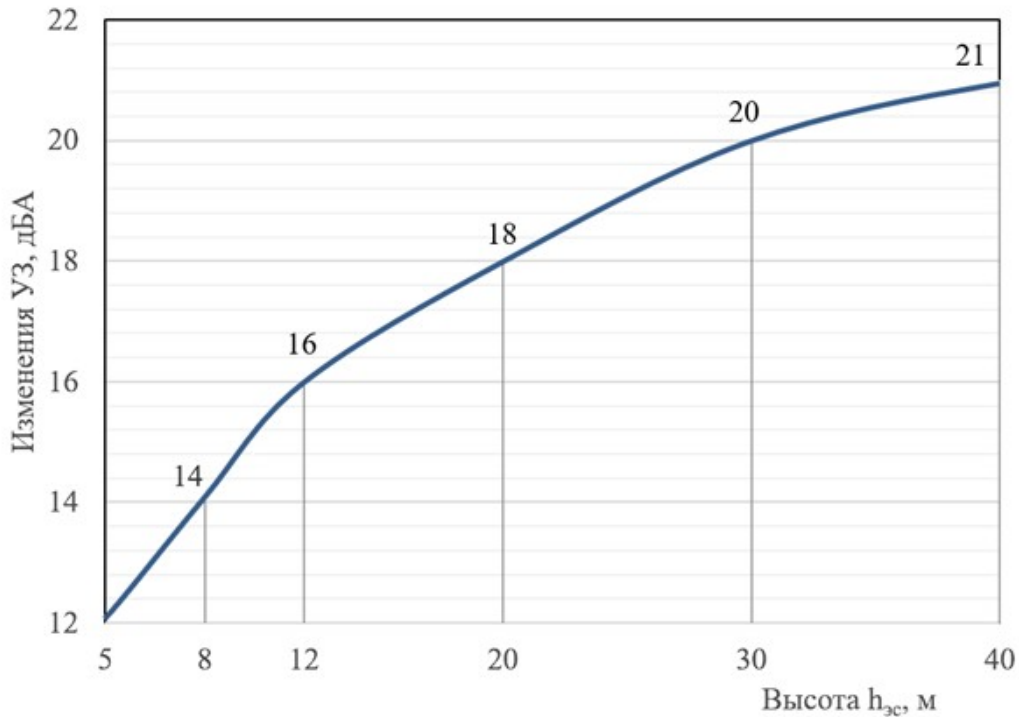


Рис. 3. Вычисленные значения изменения УЗД, дБ, при увеличении высоты экранирующего сооружения: 1-5 м, 2-8 м, 3-12 м, 4-20 м, 5-30 м, 6-40 м.

Рис. 4. Зависимость изменения УЗ, дБА, от высоты ( $h_{эс}$ ) экранирующего сооружения.

Характер изменения УЗД с ростом частоты состоит в увеличении эффекта экранирования на 3 дБ на октаву. Увеличение условной эффективности ЭС при увеличении высоты экранирующего сооружения ( $h_{эс}$ ): от 1 до 21 дБ на частоте 63 Гц, от 9 до 30 дБ на частоте 8000 Гц (Рисунок 4 и Таблица 2). После анализа изменения эффективности в уровнях звука получены значения от 12 дБА до 21 дБА с ростом высоты от 5 м до 40 м, выявленная зависимость подобна гиперболе (Рис. 4). Вычисленные значения изменения УЗ и УЗД при увеличении  $b_{эс}$  приведены в таблице 3, влияние ширины экранирующего сооружения на эффективность показано на рисунке 5.

Таблица 3

Вычисленные значения  $10 \lg \frac{b_{эс}}{\lambda}$

Выбранные значения $b_{эс}$ , м	Вычисленные значения изменения УЗД, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Изменение эквивалентных уровней звука, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
4	-1,3	1,7	4,7	7,7	10,7	13,7	16,7	19,7	11
8	1,7	4,7	7,7	10,7	14,7	16,7	19,7	22,7	14
12	3,4	6,5	9,5	12,5	15,5	18,5	21,5	24,6	16
20	5,7	8,7	11,7	14,7	17,7	20,7	23,7	26,7	18

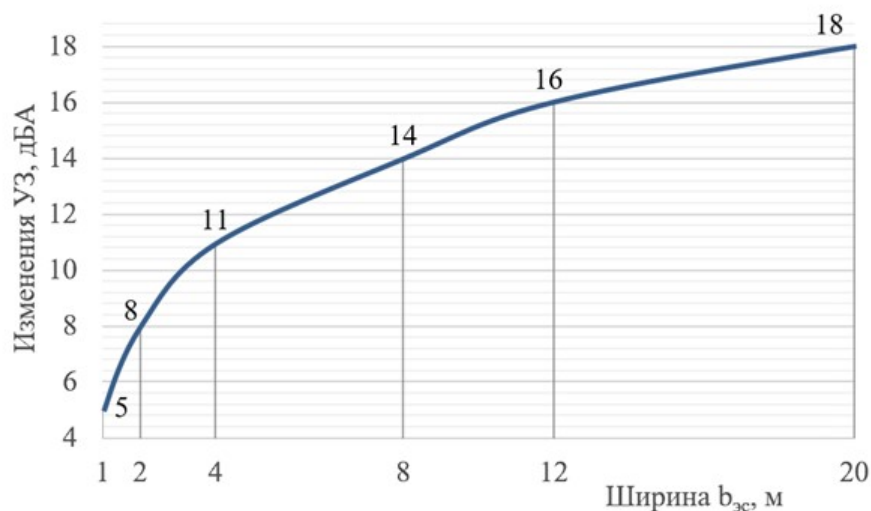


Рис. 5. Зависимость изменения УЗ от ширины экранирующего сооружения.

Анализ характера изменения эффективности снижения шума с увеличением ширины экранирующего сооружения (ЭС), показывает, что при изменении ширины ЭС от 1 м до 20 м увеличение условной эффективности составляет 5-18 дБА (Рис. 5), зависимость нелинейная, кривая имеет вид гиперболы.

Таким образом, получены общие закономерности увеличения экранирующего эффекта ЭС с увеличением основных конструктивных параметров. Отмечен рост эффективности на 3 дБ с увеличением частоты на октаву, а также нелинейное увеличение эффективности в дБА.

#### 4. Экспериментальные исследования экранирующего эффекта зданий в аэропорту «Пулково»

Для определения экранирующего эффекта зданий были выполнены натурные измерения авиационного шума в аэропорту «Пулково». Для анализа фактического экранирующего эффекта сооружениями были выбраны три здания, расположенные вблизи ВПП фасадами параллельно ВПП. Точки измерений показаны на Рисунке 6. Усредненные данные измерений УЗД и эквивалентных УЗ приведены в таблице 4.



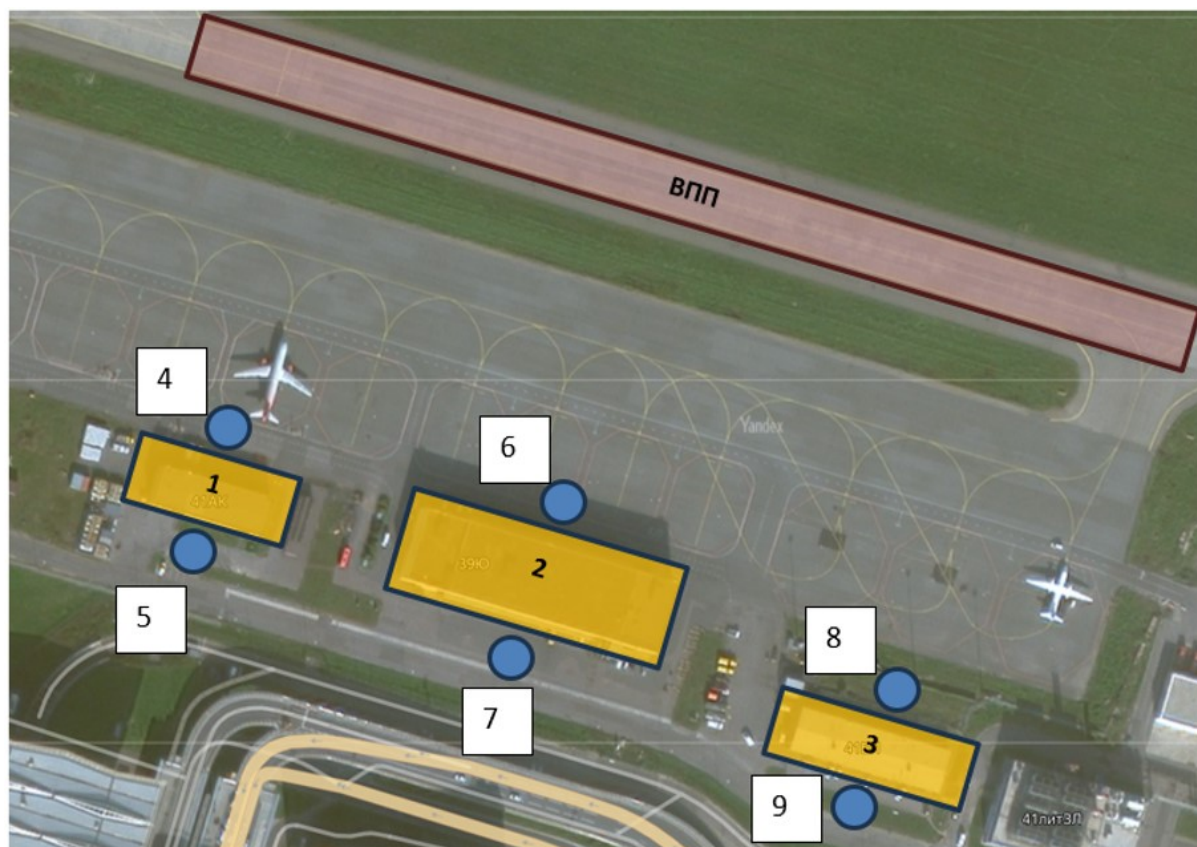


Рис. 6. Расположение точек измерения шума для анализа экранирующего эффекта зданий в аэропорту «Пулково»: 1 – 3 – номера зданий; 4, 6, 8 – точки измерения по стороны ВПП; 5, 7, 9 – точки измерения на противоположном фасаде зданий

Таблица 4

Данные измерений УЗД и эквивалентных УЗ у фасадов зданий, расположенных вдоль ВПП

№ здания	№ точки измерений	Уровни звукового давления (УЗД), дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Эквивалентные УЗ, дБА
		63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	4	70	68	70	70	69	70	55	45	75
	5	67	61	59	55	52	47	34	28	57
2	6	74	84	85	86	77	73	60	50	85
	7	66	71	69	57	55	46	35	27	60
3	8	75	78	80	78	77	73	65	52	83
	9	69	67	65	61	57	50	41	30	63

Измерения уровней звукового давления (УЗД) и эквивалентных уровней звука (УЗ) проводились при разгоне по ВПП самолетов гражданской авиации. Значения экранирующего эффекта зданий, полученные на основании результатов экспериментальных исследований как разность измеренных УЗД и УЗ у фасадов зданий, расположенных вдоль ВПП, приведены в таблице 5. Экспериментальные результаты экранирующего эффекта зданий представлены на рисунке 7.

Таблица 5

Экранирующие свойства зданий

№ здания	Разность уровней звуковых давлений (УЗД), дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц								Разность эквивалентных УЗ, дБА
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	6	7	11	15	17	23	21	21	18
2	8	13	16	19	22	27	25	23	25
3	3	11	15	17	20	23	24	22	20

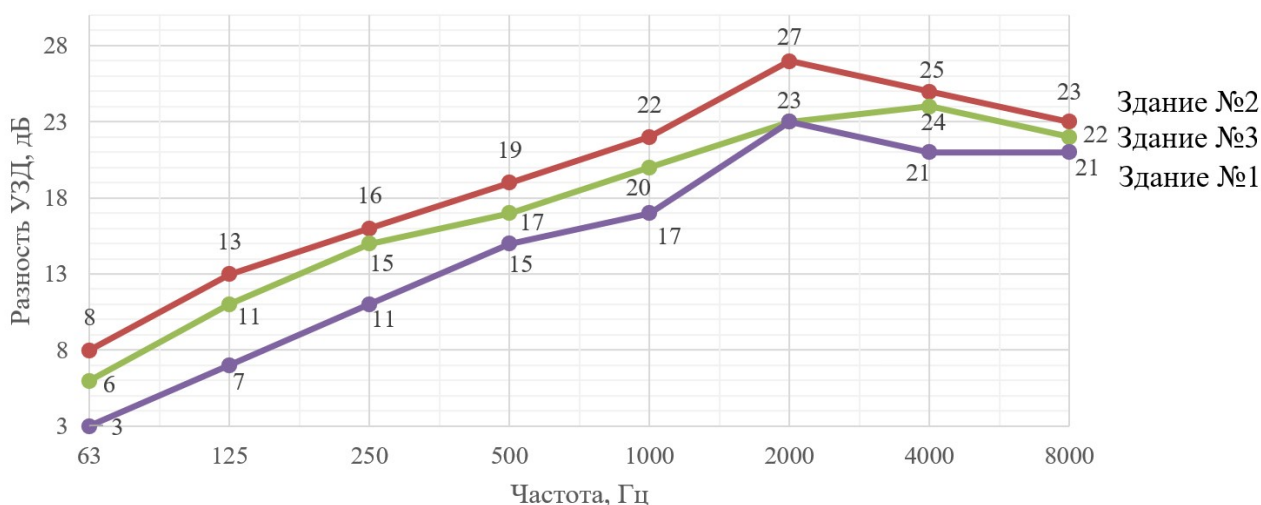


Рис. 7. Экспериментальные значения экранирующего эффекта у фасадов зданий, расположенных вдоль ВПП.

Анализ данных, приведенных в таблице 4 и на рисунке 7 показал, что на фасадах зданий, противоположных ВПП, отмечается заметное снижение шума в результате их экранирующего эффекта. Так, в зависимости от размеров здания, снижение УЗ в измерительных точках может достигать 18-25 дБА. Проанализировав характер изменения спектральных составляющих, можно отметить снижение УЗД от 3-8 дБ до 18-27 дБ в диапазоне частот 63-2000 Гц с ростом эффективности 3-4 дБ на октаву. На более высоких частотах заметно некоторое снижение эффективности экранирующих сооружений, что может быть объяснено влиянием боковой дифракции (огибанием звуком боковых поверхностей экранирующих зданий).

Выполнены расчеты экранирующего эффекта зданий, сравнение с данными измерений показало, что разница между расчетными и экспериментальными значениями составила  $\pm 3$  дБА.

Заметные величины экранирующего эффекта, полученные экспериментами, позволяют рекомендовать эту меру для снижения шума в аэропортах.

### Заключение

Аэропорт – один из самых заметных источников транспортного шума. Повышенные уровни шума отмечаются как в близрасположенной жилой застройке, так и в служебных зданиях на территории аэропортов. Наибольшие уровни шума отмечаются при разбеге самолетов по взлетно-посадочной полосе (ВПП). В качестве одной из мер снижения шума предложено использовать экранирующий эффект зданий, находящихся на территории аэропортов, на пути распространения звука от ВПП до ближайшей застройки, а также специальные сооружения, размещенные вдоль ВПП (например, акустические экраны).

Для расчёта прогнозируемых уровней шума с учётом экранирующего эффекта, создаваемого зданиями и сооружениями, были предложены формулы, для вывода которых использовалось допущение о линейном характере источника шума (ИШ), фронт звуковой волны которого до определённых расстояний имеет характер цилиндрический или квазицилиндрический. Получены зависимости шума в расчетной точке (РТ) от геометрических размеров ЭС, показателя дифракции на свободных ребрах, расстояния от ВПП до ЭС и от ЭС до РТ, а также звукопоглощающих свойств поверхностей ЭС. В ходе выполненных теоретических исследований установлены следующие закономерности: в частотном диапазоне наблюдается рост эффективности экранирующего сооружения 3 дБ/октаву, кривая увеличения эффективности в дБА с ростом высоты или ширины ЭС имеет вид гиперболы.

Выполненные в натуральных условиях эксперименты показали наличие заметного экранирующего эффекта. При рассмотрении экранирующего эффекта здания (например, когда измеряются УЗД и УЗ на двух противоположных фасадах) отмечено снижение УЗД от 7 до 27 дБ в диапазоне частот 125-2000 Гц, а УЗ - от 18 до 25 дБА. Сравнение данных расчета для этого примера с данными эксперимента показало, что отклонения УЗ не превышают  $\pm 3$  дБА, т.е. предложенный метод расчета дает удовлетворительные результаты.

### Список литературы

1. Разработка научных и методических основ картирования шума транспорта на территории городской застройки // Буторина М.В. / Докторская диссертация – 2021 г.
2. Авиационная акустика / под ред. А.Г. Мунина. // Машиностроение, 1986.
3. Опыт снижения авиационного шума вблизи аэропортов / О.А. Картышев // статья в сборнике трудов конференции III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Н.И. Иванова – 2011 – с. 133 – 136.
4. ICAO Doc 9911 «Руководство по рекомендуемому методу расчета контуров шума вокруг аэропортов» / Международная организация гражданской авиации – 2018.
5. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Н.И. Иванов // Учебник. -2008.

6. Учет погрешностей при построении карт шума / М.В. Буторина, А.В. Осетров, В.В. Светлов, К.П. Фиев // *Noise Theory and Practice*. Т. 6. № 4 (22). – 2020 – с. 81- 89.
7. К. Фиев Характер снижения авиационного шума с увеличением расстояния до летательного аппарата К.П. Фиев, Н.И. Иванов, Н.В. Тюрина // *Noise Theory and Practice*. Т. 10. № 2 (37). – 2024 – с. 88-100.
8. К. Fiev Calculation of the noise contours of a civil aviation airport К. Fiev, A. Shashurin, M. Butorina, N. Ivanov// *Akustika*, Volume 39. April 2021 -p.33-37.
9. К. Фиев Методика измерений уровней АШ с целью оценки его влияния на приаэродромную территорию при отклонении фактической линии пути от установленных процедур взлета // К.П. Фиев, В.В. Светлов, статья в сборнике трудов VI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Под редакцией Н.И. Иванова – 2011 – с. 133 – 136.
10. Определение эффективной высоты и акустических характеристик шумозащитного экрана Шашурин А.Е. *Noise Theory and Practice*. 2018. Т. 4. № 2 (12). С. 5-10.
11. Звукопоглощающая панель для шумозащитной конструкции Шашурин А.Е., Заплетников И.Н., Кириченко В.А., Иванов Н.И., Бужинский К.В., Светлов В.В., Бойко Ю.С. Патент на полезную модель RU 171794 U1, 16.06.2017. Заявка № 2016141361 от 20.10.2016.
12. Experimental study of noise barriers / N. V. Tyurina, N. N. Minina, A. E. Shashurin, M. G. Gogvadze // *Proceedings of the 26th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2019, Montreal, QC, 07–11 июля 2019 года*. – Montreal, QC: Canadian Acoustical Association, 2019.
13. Investigation of parameters influencing noise barrier efficiency / N. Tyurina, N. Ivanov, A. Shashurin, S. Bortsova // "Advances in Acoustics, Noise and Vibration - 2021" *Proceedings of the 27th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2021 : 27, Virtual, Online, 11–16 июля 2021 года*. – Virtual, Online, 2021.
14. Снижение шума стационарных источников в жилой застройке технологическими шумозащитными экранами// Н.И. Иванов, В.В. Светлов, А.Е. Шашурин/ *Журнал «Безопасность жизнедеятельности»*. Учредители: ООО "Издательство "Новые технологии" № 6 (210). – 22018 с. 16-22.
15. Новые технические и технологические решения для снижения акустического загрязнения шумозащитными экранами Шашурин А.Е. Санкт-Петербург, 2018.
16. Использование метода преобразования звуковых полей для расчёта эффективности шумозащитных конструкций / Н.И. Иванов, Н.В. Тюрина, А.Е. Шашурин, П.С. Курченко// *научный журнал Noise Theory and Practice*. Т. 6. № 4 (22). – 2020 – с. 128-134.

## References

1. Development of scientific and methodological foundations for mapping traffic noise in urban areas// Butorina M.V. / Doctoral dissertation – 2021.
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. ICAO Doc 9911 «Recommended Method for Computing Noise Contours Around Airports» / *International Civil Aviation Organization* – 2018.

5. Engineering acoustics. Theory and practice of noise control / N.I. Ivanov // Textbook - 2008.
6. Accounting for errors in the construction of noise maps / M.V. Butorina, A.V. Osetrov, V.V. Svetlov, K.P. Fiev // scientific journal Noise Theory and Practice. Т. 6. № 4 (22). – 2020 – pp. 81-89.
7. K.P. Fiev The nature of aviation noise reduction with increasing distance from an aircraft K. Fiev, N.I. Ivanov, N.V. Turina // Noise Theory and Practice. Т. 10. № 2 (37). – 2024 – pp. 88-100.
8. K. Fiev Calculation of the noise contours of a civil aviation airport K. Fiev, A. Shashurin, M. Butorina, N. Ivanov // Akustika, Volume 39. April 2021 -p.33-37.
9. K. Fiev Methodology for measuring ASH levels in order to assess its impact on the aerodrome area when the actual path line deviates from the established take-off procedures // K.P. Fiev, V.V. Svetlov, Proceedings of the VI All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation. Edited by N.I. Ivanov – 2011 – pp. 133 – 136.
10. Determination of the effective height and acoustic characteristics of the noise shield Shashurin A.E. Noise Theory and Practice. 2018. Vol. 4. No. 2 (12). pp. 5-10.
11. Sound-absorbing panel for noise-proof construction Shashurin A.E., Zapletnikov I.N., Kirichenko V.A., Ivanov N.I., Buzhinsky K.V., Svetlov V.V., Boyko Yu.S. Patent for utility model RU 171794 U1, 06/16/2017. Application No. 2016141361 dated 10/20/2016.
12. Experimental study of noise barriers / N. V. Tyurina, N. N. Minina, A. E. Shashurin, M. G. Gogvadze // Proceedings of the 26th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2019, Montreal, QC, 07–11 июля 2019 года. – Montreal, QC: Canadian Acoustical Association, 2019.
13. Investigation of parameters influencing noise barrier efficiency / N. Tyurina, N. Ivanov, A. Shashurin, S. Bortsova // "Advances in Acoustics, Noise and Vibration - 2021" Proceedings of the 27th International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2021 : 27, Virtual, Online, July 11-16, 2021. – Virtual, Online, 2021.
14. Noise reduction of stationary sources in residential buildings with technological noise-proof screens// N.I. Ivanov, V.V. Svetlov, A.E. Shashurin/ Journal "Life safety". The founders: LLC "New Technologies Publishing House No. 6 (210). – 2018 p. 16-22.
15. New technical and technological solutions to reduce acoustic pollution with noise-proof screens Shashurin A.E. St. Petersburg, 2018.
16. Using the method of converting sound fields to calculate the effectiveness of noise-proof structures / N.I. Ivanov, N.V. Tyurina, A.E. Shashurin, P.S. Kurchenko// scientific journal Noise Theory and Practice. Т. 6. № 4 (22). – 2020 – pp. 128-134.