

УДК: 534

OECD: 01.03. AA

Влияние формы и размеров акустического экрана на его эффективность

Кондратьев С.А.^{1*}, Иванов Н.И.², Тюрина Н.В.³¹Старший преподаватель кафедры «Экология и производственная безопасность»,^{2,3}Д.т.н., профессор кафедры «Экология и производственная безопасность»^{1,2,3}Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф.

Устинова, г. Санкт-Петербург, РФ

Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований опытных акустических экранов (АЭ) различных размеров, форм, с наличием звукопоглощения (и без него), выполненные на специальном стенде. Согласно результатам экспериментальных исследований, при каждом удвоении площади акустического экрана, эффективность АЭ возрастает на 3-4 дБА. Форма АЭ, как его важный конструктивный фактор, существенно влияет на эффективность экрана, в частности, экспериментально установлено, что эффективность Г-образного (в плане) АЭ по сравнению с плоским на 2-3 дБА больше, эффективность П-образного (в плане) АЭ на 4 дБА больше, а полузамкнутого АЭ на 6-7 дБА больше, чем плоского вертикального АЭ. Увеличение звукопоглощения материала акустического экрана по всей его площади, увеличивает его эффективность на 1-3 дБ в диапазоне частот 125-8000 Гц. Также установлено, что плоский вертикальный АЭ (длиной 1 метр и шириной 1 метр) снижает уровень звукового давления (УЗД) на величину до 17 дБ в частотном диапазоне 125-8000 Гц, тогда как АЭ размерами 2×2 м – на 5-23 дБ, а полузамкнутый АЭ размером 2×2 м со звукопоглощением снижает УЗД на 8-25 дБ в частотном диапазоне 125-8000 Гц.

Ключевые слова: акустический экран, площадь, форма, звукопоглощение, вносимые потери, эффективность, экспериментальные исследования, уровень звука, уровень звукового давления

Influence of noise barrier design parameters on its acoustical insertion loss

Kondratev S.A.^{1*}, Ivanov I.I.², Tyurina N.V.³¹Senior lecturer of the Department of Ecology and Industrial Safety,^{2,3}D.Sc., Professor of the Department of Ecology and Industrial Safety^{1,2,3}Baltic State Technical University 'VOENMEH', St. Petersburg, Russia

Abstract

Results of experimental studies of noise barriers insertion loss are presented in the article. Noise barriers of various sizes, shapes, with and without sound absorption, performed on a special mock up are discussed. According to obtained experimental results noise barrier's efficiency increases by 3-4 dBA with each doubling of the noise barrier area. The shape of a barrier, as its design factor, significantly affects the efficiency of a barrier, in particular, efficiency of a Г-shaped barrier is by 2-3 dBA higher than a flat one, the efficiency of a П-shaped barrier is by 4 dBA higher, and a semi-closed barrier is by 6-7 dBA more effective than a flat vertical barrier.

*E-mail: kondratev_sa@voenmeh.ru (Кондратьев С.А.)

Increasing the sound absorption of the noise barrier's material over its entire area increases its efficiency by 1-3 dB in the frequency range 125-8000 Hz. It was also found that a flat vertical barrier (1 meter long and 1 meter wide) reduces the sound pressure level (SPL) by up to 17 dB in the frequency range of 125-8000 Hz, while a 2x2 m-sized barrier reduces SPL by 5-23 dB, and a 2x2 m semi-closed barrier with a sound-absorbing material reduces the efficiency by 8-25 dB in the frequency range of 125-8000 Hz.

Keywords: noise barrier, area, shape, sound absorption, insertion loss, efficiency, experimental study, sound level, sound pressure level

1 Экспериментальные исследования акустических экранов

1.1 Объекты исследования

Эксперименты проводились на опытном стенде, расположенном в свободном звуковом поле (испытательная площадка, в радиусе 40 м от центра которой отсутствовали какие-либо препятствия). Были испытаны опытные образцы акустических экранов (АЭ) различной площади, размерами 1×1 м, 1,5×1,5 м, 2×2 м, различной формы: плоские, Г-образные, П-образные и полузамкнутые, также были испытаны АЭ с применением звукопоглощающего материала (ЗПМ).

Схемы испытаний и внешний вид испытываемых АЭ различной формы приведены на рисунках 1-7.

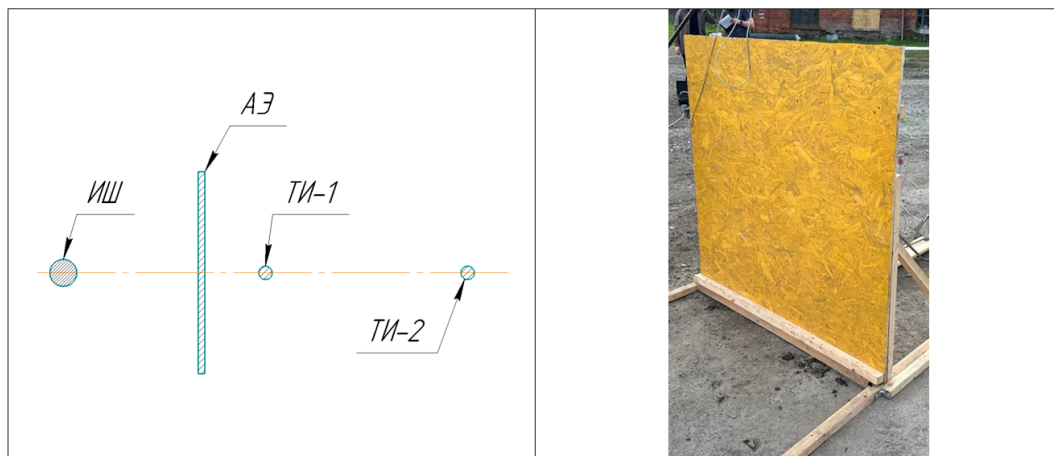


Рисунок 1 – Плоский АЭ (вертикальный)

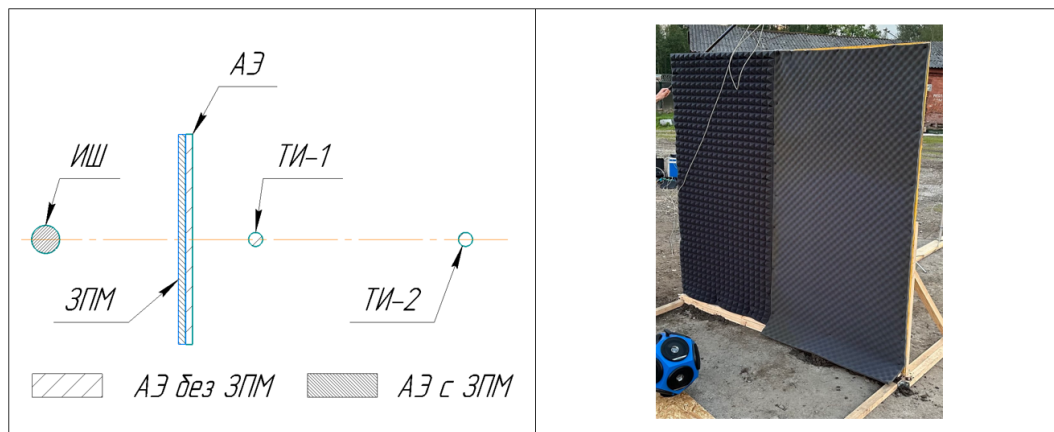


Рисунок 2 – Плоский АЭ с ЗПМ

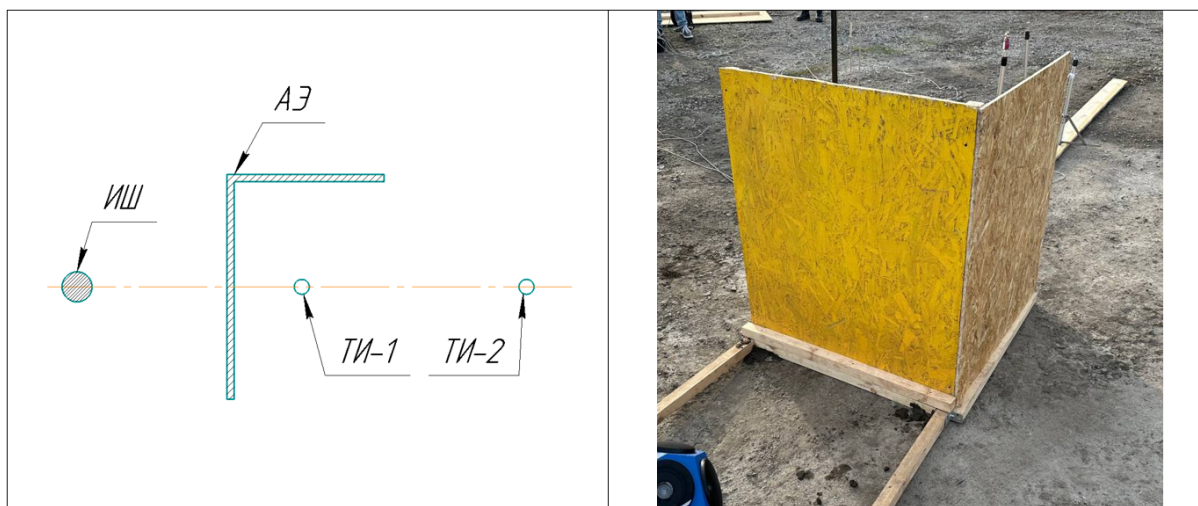


Рисунок 3 – Г-образный АЭ (с дополнительным боковым ребром)

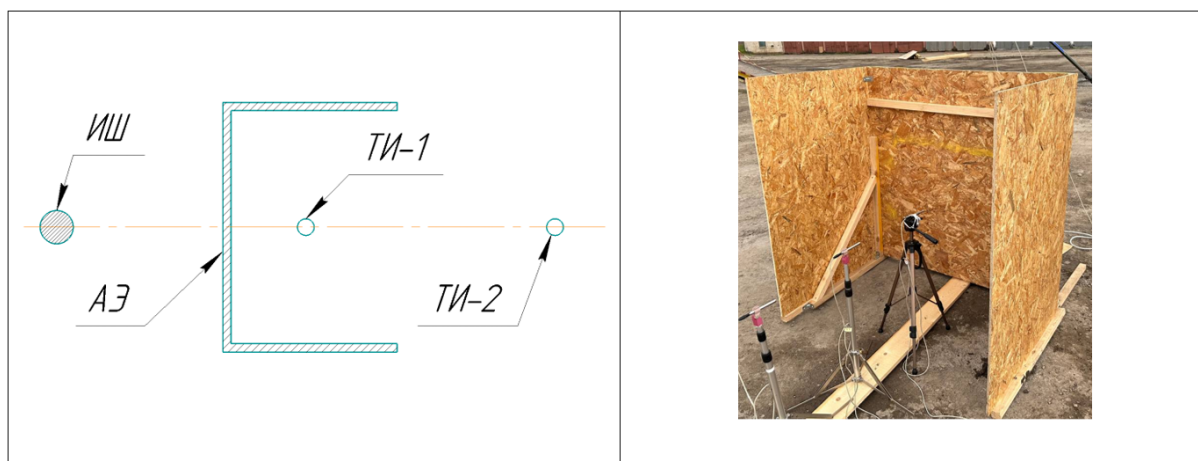


Рисунок 4 – П-образный АЭ (с двумя боковыми ребрами)

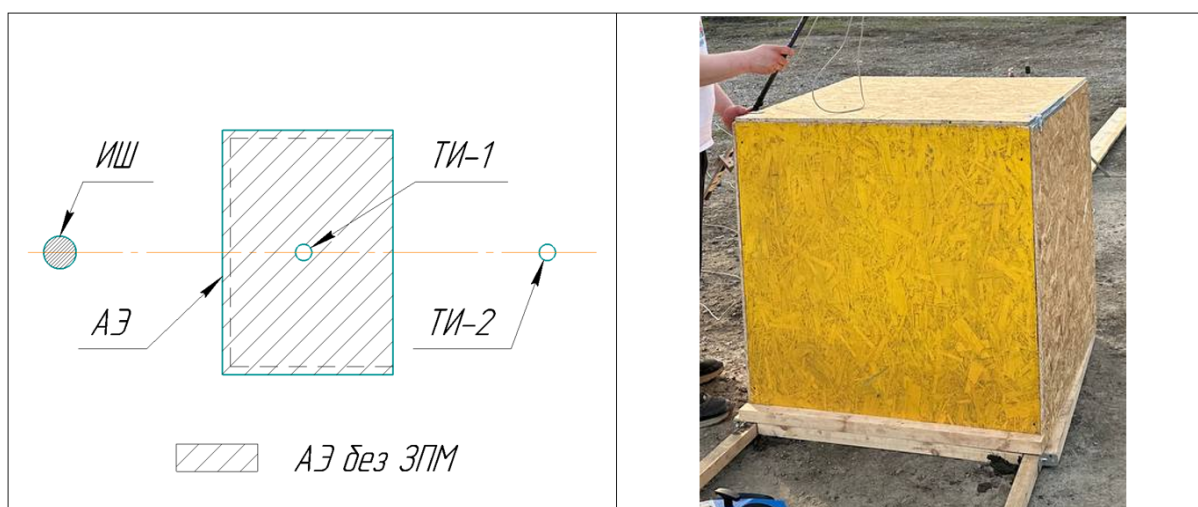


Рисунок 5 – Полузамкнутый АЭ (с двумя боковыми ребрами и верхней полкой)

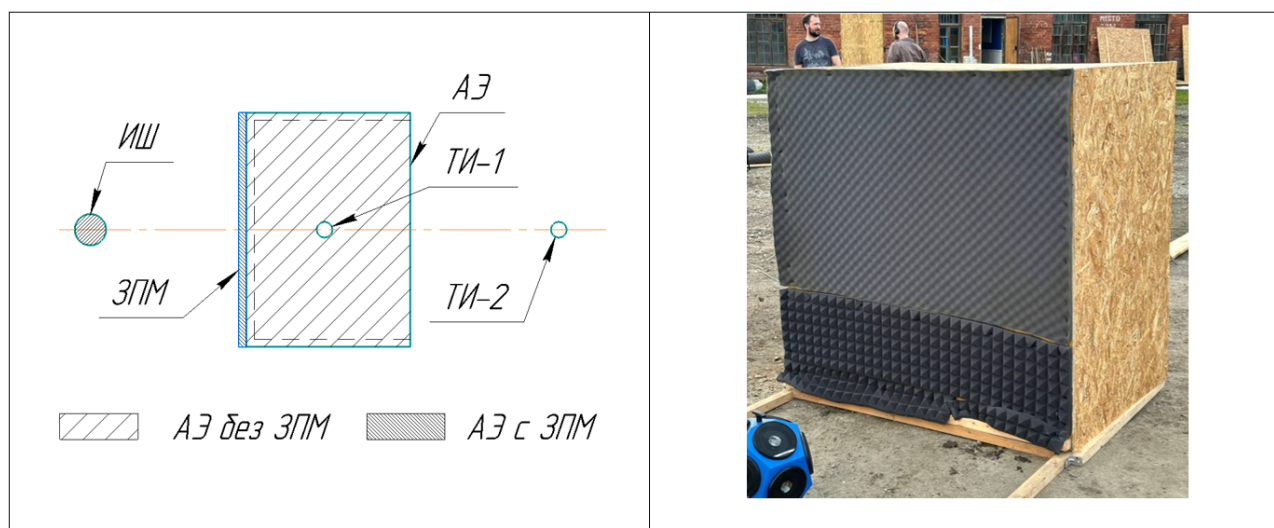


Рисунок 6 – Полузамкнутый АЭ с ЗПМ на лицевой стороне

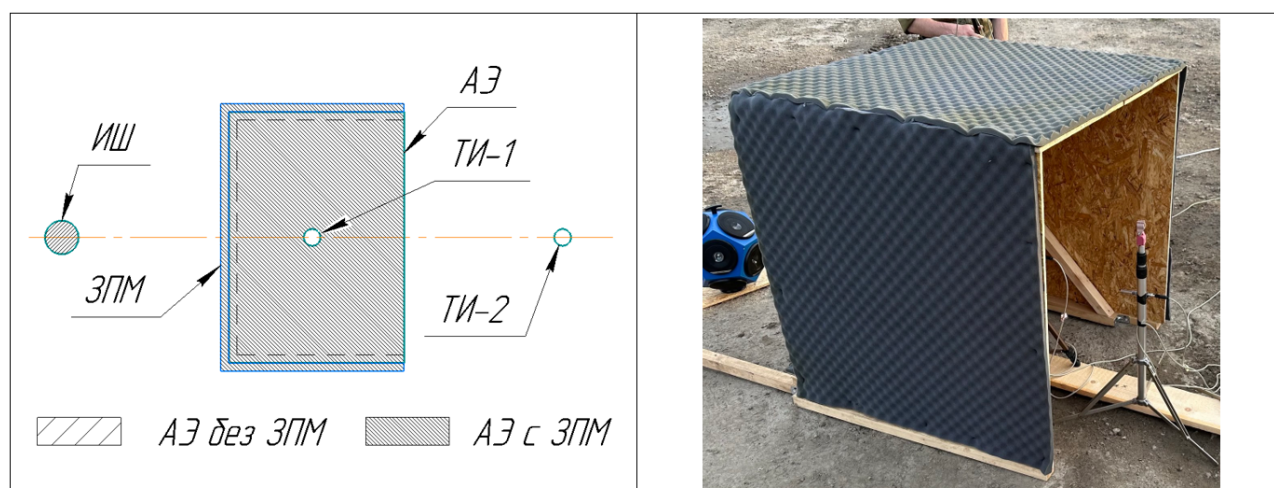


Рисунок 7 – Полузамкнутый АЭ с ЗПМ на внешнем контуре

Сведения об опытных образцах акустических экранов представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сведения об опытных образцах акустических экранов

№ п/п	Форма АЭ	Размеры АЭ (высота точки измерения), м
1	Плоский	1x1 (0,5м), 1,5x1,5 (0,75м), 2x2 (1 м)
2	Г-образный	
3	П-образный	
4	П-образный, полузамкнутый	
5	П-образный, полузамкнутый с ЗПМ на внешнем контуре	

1.2 Методика измерений

Испытания проводились ненаправленным искусственным источником звука постоянной мощности. Для измерений использовались прецизионные шумомеры, устанавливаемые в точках измерений. Измерения проводились в двух измерительных точках (рисунок 8), количество замеров в каждой точке измерения – не менее трёх. Обработка результатов измерений выполнялась соответствии с [11]. Акустическая эффективность опытных экранов определялась как разность уровней звуковых давлений или уровней звука в точке без акустического экрана и с акустическим экраном.

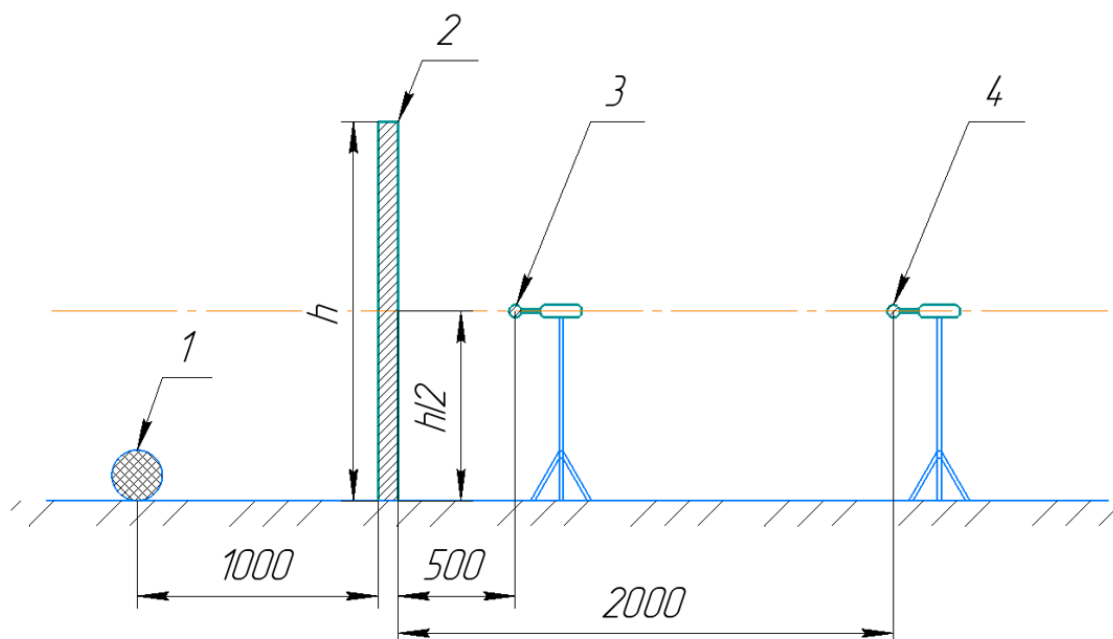


Рисунок 8 – Схема расположения точек измерения для определения акустической эффективности акустического экрана: 1 – расположение ИШ, 2 – расположение АЭ, 3 – точка измерения 1 (ТИ-1), 4 – точка измерения 2 (ТИ-2)

1.3 Измерительная аппаратура и устройства

При проведении измерений применялось следующее оборудование:

1) шумомер-виброметр, анализатор спектра ЭКОФИЗИКА-110А, предназначенный для измерения среднеквадратичных, эквивалентных и пиковых уровней звука, октавных и 1/3-октавных спектров;

2) калибратор акустический АК-1000, предназначенный для создания звукового поля с уровнями 94 дБ и 114 дБ (относительно 20 мкПа) на частоте 1000 Гц, воздействующего на диафрагму микрофонов, оснащенных защитной сеткой, применяемых в составе шумомеров 1 или 2 класса по ГОСТ 17187-2010, ГОСТ Р 53188.1-2019, МЭК 61672-1;

3) всенаправленный источник звука (додекаэдр) OED-SP360, соответствующий нормативам ГОСТ 27296-2012 «Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций», ГОСТ Р ИСО 10140-2-2012 «Акустика. Лабораторные измерения звукоизоляции элементов зданий. Часть 2. Измерение звукоизоляции воздушного шума»; ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013 «Акустика. Измерение акустических параметров помещений»; ГОСТ Р ИСО 3382-2-2013 «Акустика. Время реверберации обычных помещений».

2 Анализ результатов натурных измерений

2.1 Зависимость эффективности акустических экранов от его размеров

Были выполнены испытания трёх образцов АЭ размерами: 1,0х1,0 м, 1,5х1,5 м, 2,0х2,0 м. Усредненные результаты натурных замеров приведены в таблице 2 и показаны на рисунках 9-10.

Согласно результатам экспериментальных исследований акустический экран размерами 1,0х1,0 м обеспечивает снижение шума 2-17 дБ в диапазоне частот 250-8000 Гц (8 дБА) при расположении точки измерения в глубокой акустической тени (на расстоянии 0,5 метра от экрана) и 1-14 дБ в рассматриваемом диапазоне (6 дБА) на расстоянии 2 м от экрана. Акустический экран размерами 1,5х1,5 м обеспечивает снижение шума 2,5-20 дБ в диапазоне частот 125-8000 Гц (12 дБА) при расположении точки измерения в глубокой акустической тени (на расстоянии 0,5 метра от экрана) и 1,5-17 дБ в рассматриваемом диапазоне (10 дБА) на расстоянии 2 м от экрана. Акустический экран размерами 2х2 м обеспечивает снижение шума 5-23 дБ в диапазоне частот 125-8000 Гц (15 дБА) при расположении точки измерения в глубокой акустической тени (на расстоянии 0,5 метра от экрана) и 4-21 дБ в рассматриваемом диапазоне (13 дБА) на расстоянии 2 м от экрана.

Как следует из результатов натурных замеров, каждое удвоение площади увеличивает эффективность АЭ на 3 дБА. Спектральные составляющие эффективности экранов имеют ярко выраженный подъём в сторону высоких частот с наклоном 2-2,5 дБ на октаву. Данные в точке измерения на расстоянии 0,5 метров от экранов, в среднем, на 1-3 дБ выше, чем в точке измерения, расположенной на расстоянии 2 метра от экрана, то есть эффективность АЭ заметно убывает при увеличении расстояния от АЭ до расчётной точки (в связи с уменьшением угла дифракции). Полученные данные рекомендуется использовать при проектировании АЭ.

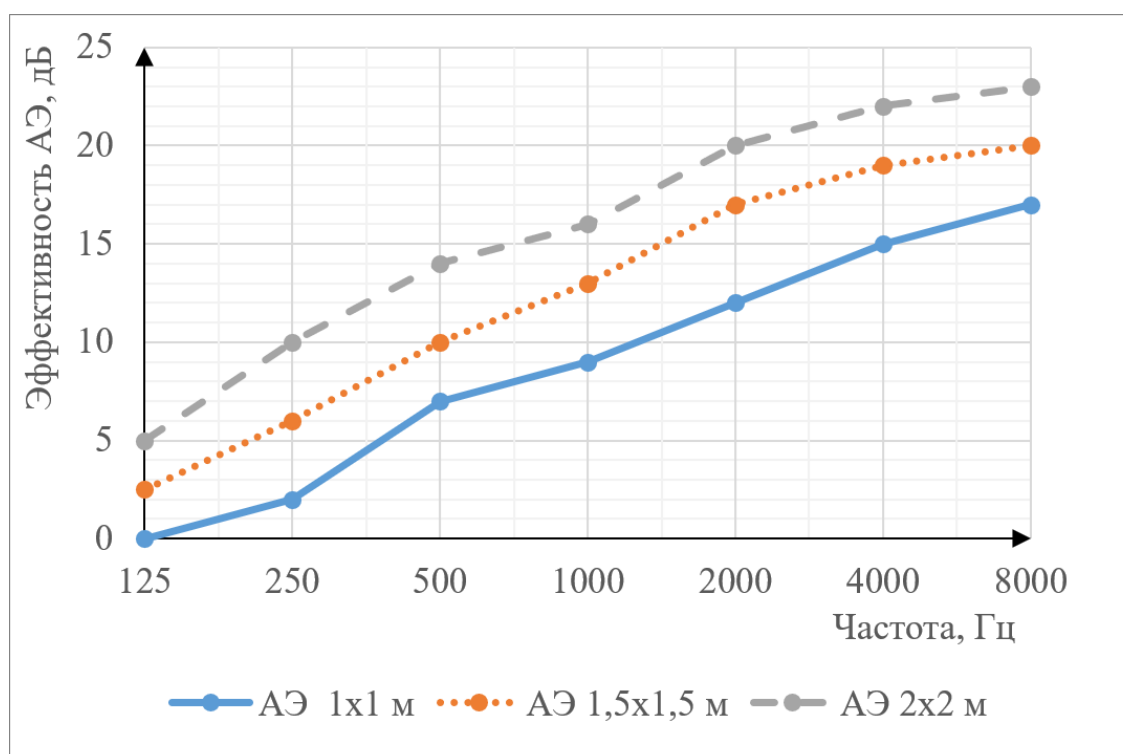


Рисунок 9 – Зависимость акустической эффективности АЭ разных размеров в свободном звуковом поле на расстоянии от АЭ до ТИ-1 (0,5 м от экрана)

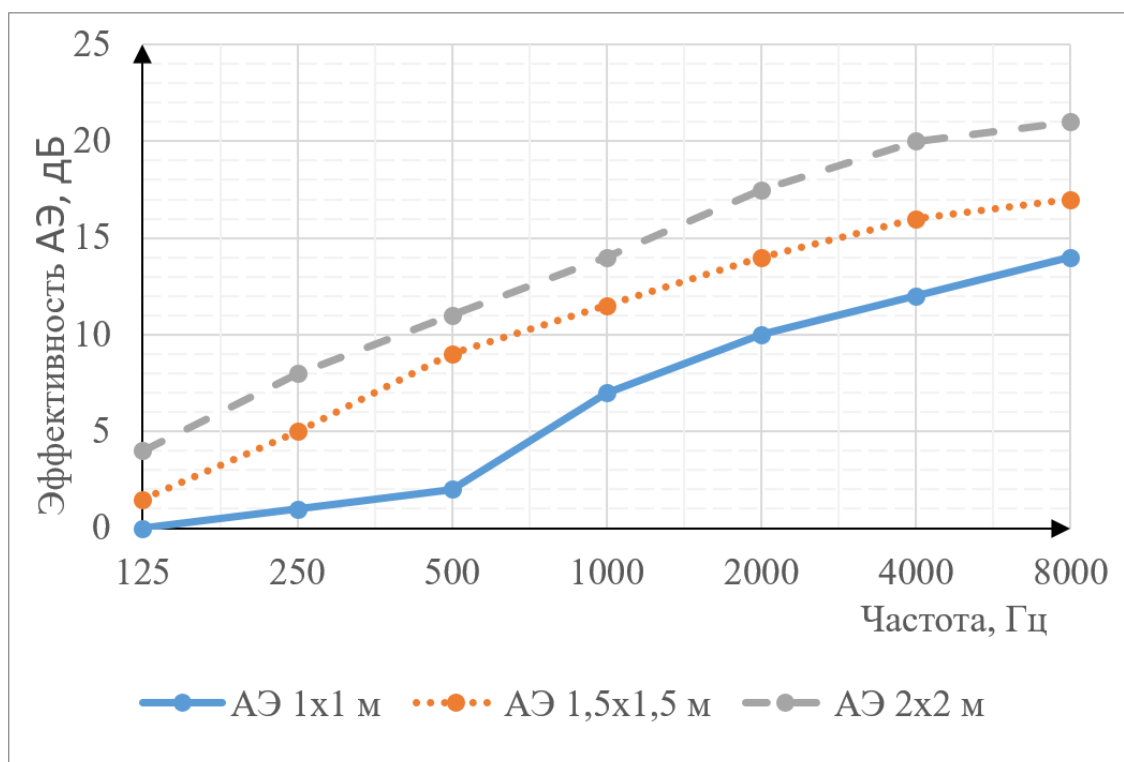


Рисунок 10 – Зависимость акустической эффективности АЭ разных размеров в свободном звуковом поле на расстоянии от АЭ до ТИ-2 (2,0 м от экрана)

Таблица 2 – Эффективность АЭ в свободном звуковом поле в зависимости от размеров экрана (экран плоский, вертикальный)

Размеры АЭ, высота ТИ, м	Расстояние от АЭ до ТИ, м	Эффективность АЭ, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Эффективность, дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1x1 hТИ= 0,5	0,5	0,0	2,0	7,0	9,0	12,0	15,0	17,0	8,0
	2,0	0,0	1,0	2,0	7,0	10,0	12,0	14,0	6,0
1,5x1,5 hТИ= 0,75	0,5	2,5	6,0	10,0	13,0	17,0	19,0	20,0	12,0
	2,0	1,5	5,0	9,0	11,5	14,0	16,0	17,0	10,0
2x2 hТИ= 1,0	0,5	5,0	10,0	14,0	16,0	20,0	22,0	23,0	15,0
	2,0	4,0	8,0	11,0	14,0	17,5	20,0	21,0	13,0

2.2 Зависимость эффективности акустического экрана от его формы

Были выполнены испытания различных АЭ: плоского (вертикального), Г-образного, П-образного и полужамкнутого типа, то есть П-образного с полкой на верхнем свободном ребре АЭ. Испытания проводились с акустическими экранами трёх размеров, но, так как полученные данные идентичные, приводятся результаты испытаний для АЭ размером 1x1 м (таблица 3, рисунок 11).

Как следует из анализа полученных результатов, изменение формы акустического экрана заметно сказывается на его эффективности. Г - образный акустический экран эффективнее плоского на 1-2 дБ (2 дБА), в то время как П-образный акустический

экран на 3–4 дБ (3 дБА) эффективнее плоского в рассматриваемом частотном диапазоне. Максимальное усложнение формы экрана надстройками на свободных рёбрах дополнительно увеличивает его эффективность на 5–7 дБ (6 дБА), таким образом, если плоский акустический экран обеспечивает снижение УЗД на 2–17 дБ (6 дБА), то полузамкнутый на 6–22 дБ (14 дБА).

Таблица 3 – Эффективность АЭ в свободном звуковом поле в зависимости от формы экрана

Форма АЭ	Расстояние от АЭ до ТИ, м.	Эффективность АЭ, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							Эффективность, дБА
		125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Плоский	0,5	0,0	2,0	7,0	9,0	12,0	15,0	17,0	8,0
	2,0	0,0	1,0	5,0	7,0	10,0	12,0	14,0	6,0
Г-образный	0,5	2,0	4,0	9,0	11,0	13,0	17,0	20,0	9,0
	2,0	1,0	2,0	6,0	8,0	11,0	14,0	17,0	7,0
П-образный	0,5	3,0	6,0	11,0	13,0	16,0	19,0	21,0	11,0
	2,0	1,0	3,0	8,0	10,0	12,0	15,0	17,0	8,0
Полузамкнутый	0,5	6,0	9,0	14,0	16,0	18,0	21,0	22,0	14,0
	2,0	3,0	5,0	10,0	13,0	14,0	17,0	18,0	11,0

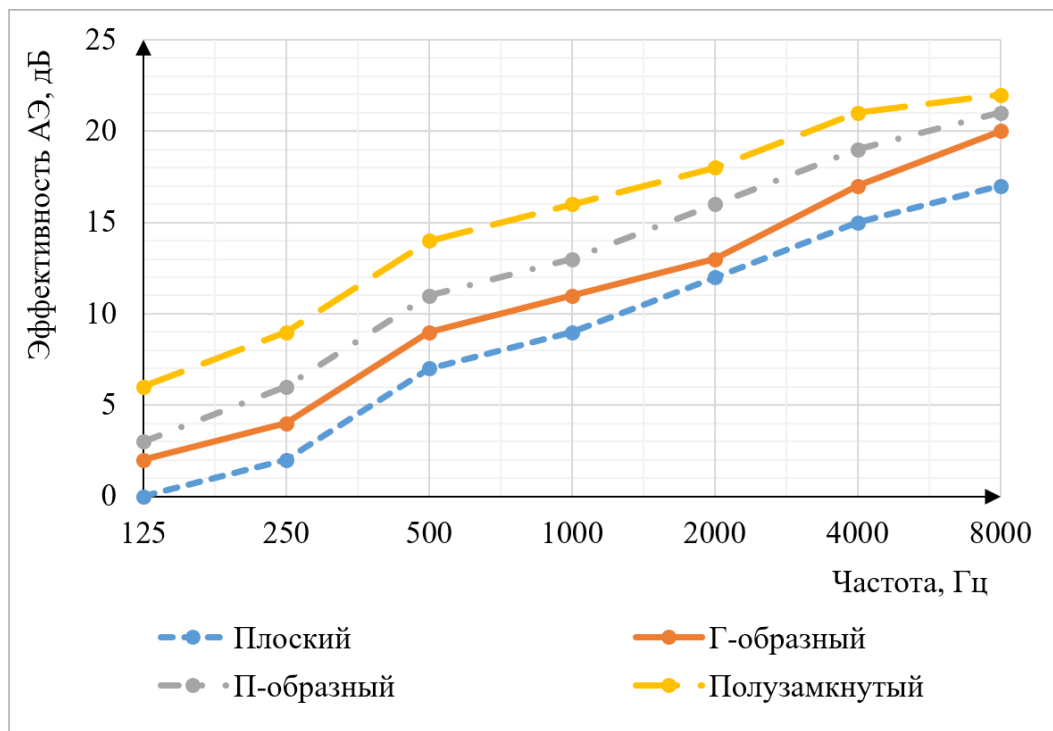


Рисунок 11 – Сравнительная эффективность АЭ размером 1х1 м различной формы АЭ (результаты измерения в точке, расположенной на расстоянии 0,5 м от экрана)

Таблица 4 – Усредненные значения эффективности звукопоглощения для плоского АЭ

Способ получения данных	Эффективность ЗПМ, дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц						
	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Эксперимент	1,0	2,0	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
$\alpha_{\text{экp}} - \text{пересчет экспериментальных данных по формуле (1)}$	0,2	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
$\alpha_{\text{экp}} - \text{измеренный в реверберационной камере}$	0,5	0,7	0,8	0,8	0,8	0,8	5,0
Расчёт по формуле (1)	3,0	5,0	7,0	7,0	7,0	7,0	0,7

2.3 Влияние звукопоглощения на эффективность акустического экрана

Испытывались акустические экраны со звукопоглощающим материалом, нанесённым со стороны искусственного источника звука по всей площади опытного акустического экрана, для экранов всех размеров. Результаты измерений в виде разницы между УЗД для плоского акустического экрана приведены в таблице 4.

Расчёты увеличения эффективности акустического экрана за счёт нанесения ЗПМ выполнялись по формуле:

$$\Delta L_{\text{ЗПМ}}^{\text{экp}} = 10 \lg(1 - \alpha_{\text{экp}}), \quad (1)$$

где $\alpha_{\text{экp}}$ выбирается на основании сертификационных данных АЭ (или определяется экспериментально).

На основании выполненных экспериментальных исследований установлено, что эффективность акустического экрана увеличивается на 1-3 дБ в частотном диапазоне 125-8000 Гц за счёт нанесения на поверхность акустического экрана звукопоглощающего материала (ЗПМ). Таким образом, фактическое влияние от нанесения звукопоглощающего слоя на поверхность экрана на его акустическую эффективность, в среднем, на 2-4 дБ ниже коэффициентов звукопоглощения материала экрана, полученных экспериментом в акустической камере (сертификационных данных АЭ). Разница объясняется тем, что коэффициент звукопоглощения при испытаниях панели акустического экрана в камере определяется в реверберационном поле, в то время как на практике имеет место направленное падение звука на акустический экран. Данное обстоятельство следует учитывать при проектировании акустических экранов, установленных в помещениях.

Заключение

В работе представлены результаты экспериментальных исследований эффективности акустических экранов. Установлено, что каждое удвоение площади акустического экрана увеличивает его эффективность, в среднем, на 3 дБА. Спектральные составляющие эффективности экранов имеют ярко выраженный подъём в сторону высоких частот с наклоном 2-2,5 дБ на октаву. При уменьшении угла дифракции эффективность АЭ заметно убывает, в частности, при увеличении расстояния от АЭ до расчётной точки с 0,5 м до 2 м вносимые экранами потери снижаются на 2 дБА. Форма экрана оказывает существенное влияние на эффективность экрана, в частности, плоский прямой АЭ в зоне глубокой акустической тени обеспечивает снижение шума на 6-8 дБА, Г-образный в плане АЭ (с дополнительным боковым ребром) – на 7-9 дБА, П-образный в плане АЭ (с двумя дополнительными боковыми ребрами) – на 8-11 дБА, полузамкнутый АЭ – на 11-14 дБА. При наличии звукопоглощения акустического экрана при увеличении частоты звука эффективность экрана увеличивается на 1-3 дБ в частотном диапазоне 125-8000 Гц. При этом фактический эффект от нанесения звукопоглощения на поверхность акустического экрана почти в два раза ниже значений коэффициента звукопоглощения экрана, полученных в реверберационной камере при выполнении сертификационных испытаний.

Список использованных источников

1. Тюрина, Н. В. Решение проблемы снижения шума на селитебных территориях и рабочих местах в помещениях акустическими экранами: специальность 01.04.06 "Акустика" : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук / Тюрина Наталья Васильевна. – Санкт-Петербург, 2014. – 22 с.
2. Тюрина, Н. В. Актуальные проблемы проектирования транспортных акустических экранов / Н. В. Тюрина // Защита от повышенного шума и вибрации : Сборник докладов V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Санкт-Петербург, 18–20 марта 2015 года / под редакцией Н.И. Иванова. – Санкт-Петербург: Общество с ограниченной ответственностью "Айсинг", 2015. – С. 685-693.
3. Tyurina, N. V. Investigation of acoustical barriers for transport noise control / N. V. Tyurina, N. I. Ivanov, A. E. Shashurin // 22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2015 : 22, Florence, 12–16 июля 2015 года. – Florence, 2015.
4. Tyurina, N. V. 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.
5. Шашурин, А. Е. Научное обоснование и применение новых технических и технологических решений для снижения акустического загрязнения основными типами шумозащитных экранов: специальность 01.04.06 "Акустика": диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Шашурин Александр Евгеньевич, 2018. – 420 с.
6. Шашурин, А. Е. Экономическая целесообразность выбора шумозащитных конструкций / А. Е. Шашурин, С. С. Борцова // Вестник образования и развития науки Российской академии естественных наук. – 2020. – № 3. – С. 66-71. – DOI 10.26163/RAEN.2020.91.82.009.

7. Романов Н.В., Пегин П.А. Современные конструкции шумозащитных экранов // Noise Theory and Practice. – 2022. – № 8(1).– С. 17-28.
8. Тупов В.Б., Мухаметов А.Б. Влияние опорной поверхности на акустическую эффективность экрана // Noise Theory and Practice. – 2023. – Т.9. -№2.– С. 103-114.
9. Кондратьев А.С. Рекомендации по выбору шумозащитных мероприятий для защиты от шума железной дороги / А. В. Шабарова, С. С. Борцова, М. В. Буторина, С. А. Кондратьев // Noise Theory and Practice. – 2023. – Т. 9. -№ 4. – С. 39-50.
10. Мусаева, Р. Н. Акустическая эффективность экрана с цилиндрической насадкой на верхней кромке / Р. Н. Мусаева, А. И. Комкин // Noise Theory and Practice. – 2024. – Т. 10. -№ 4. – С. 80-88.
11. ГОСТ 30690-2000 Экраны акустические передвижные. Методы определения ослабления звука в условиях эксплуатации

References

1. Tyurina, N. V. Solving the problem of noise reduction in residential areas and workplaces in rooms with acoustic screens. Specialty 04/01/06 "Acoustics" : An abstract of the dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences / Tyurina Natalia Vasilyevna. – St. Petersburg, 2014. – 22 p.
2. Tyurina, N. V. Actual problems of transport noise barriers designing / N. V. Tyurina // Protection from Increased Noise and Vibration : Proceedings of the V All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation, St. Petersburg, March 18-20, 2015 / Edited by N.I. Ivanov. – Saint Petersburg: Icing Limited Liability Company, 2015. pp. 685-693.
3. Tyurina, N. V. Investigation of acoustic barriers for transport noise control / N. V. Tyurina, N. I. Ivanov, A. E. Shashurin // 22nd International Congress on Sound and Vibration, ICSV 2015 : 22, Florence, July 12-16, 2015. Florence, 2015.
4. Tyurina, N. V. 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, July 07-11, 2019. – Montreal, QC: Canadian Acoustical Association, 2019.
5. Shashurin, A. E. Scientific Substantiation and Application of New Technical and Technological Solutions to Reduce Acoustic Pollution by Main Types of Noise Barriers: Specialty 04/01/06 "Acoustics": Dissertation for the Degree of Doctor of Technical Sciences / Shashurin Alexander Evgenievich, 2018. – 420 p.
6. Shashurin, A. E. The economic feasibility of choosing noise-proof structures / A. E. Shashurin, S. S. Bortsova // Bulletin of Education and Science Development of the Russian Academy of Natural Sciences, 2020, No. 3, pp. 66-71, DOI 10.26163/RAEN.2020.91.82.009.
7. Romanov N.V., Pegin P.A. Modern designs of noise-proof screens // Noise Theory and Practice. – 2022. – № 8(1).– pp. 17-28.
8. Tupov V.B., Mukhametov A.B. The influence of the Upper Edge Surface on the Acoustical Efficiency of a Screen // Noise Theory and Practice. – 2023. – Vol.9. -No. 2.– pp. 103-114.
9. Kondratiev A.S. Recommendations on the Choice of Noise Protection Measures to Protect against Railway Noise / A.V. Shabarova, S. S. Bortsova, M. V. Butorina, S. A. Kondratiev // Noise Theory and Practice. – 2023. – Vol. 9. - No. 4. – pp. 39-50.
10. Musayeva, R.N. Acoustic Efficiency of a Screen with a Cylindrical Nozzle on the Upper Edge / R.N. Musayeva, A. I. Komkin // Noise Theory and Practice. – 2024. – Vol. 10. -No. 4. – pp. 80-88.

11. GOST 30690-2000 Acoustical mobile screens. Methods for determining sound attenuation under operating conditions