

ОСОБЕННОСТИ АКУСТИЧЕСКОЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ОТКРЫТОГО ТЕАТРА

А.Р. Фазилов

Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими, г. Душанбе, Республика Таджикистан

Статья посвящена вопросу акустической реконструкции открытого театра на примере открытого театра по улице Исмоили Сомони в г. Душанбе. Приведены основные критерии оценки акустических условий в залах зрелищных зданий, а также особые подходы, способы формирования благоприятной акустической среды в открытых театрах. Проведены работы по обследованию и анализу существующего состояния архитектурно-планировочного решения и пластики внутренних поверхностей ограждающих конструкций рассматриваемого открытого театра, выполнены соответствующие расчеты существующих акустических условий в театре. Приведены результаты выполненных работ, по результатам которых сделан вывод о том, что рассматриваемый театр по основным акустическим параметрам не обеспечит формирование благоприятной акустической обстановки и требуется проведение соответствующей акустической реконструкции. По результатам выполненных работ разработаны рекомендации по акустической реконструкции рассматриваемого открытого театра.

Ключевые слова: акустика, театр, реконструкция, структура отражений, реверберация, диффузность, артикуляция.

ХУСУСИЯТҲОИ ХОСИ ТАҶДИДИ АКУСТИКИИ ТЕАТРИ КУШОДА

А.Р. Фазилов

Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ, ш. Душанбе, Ҷумҳурии Тоҷикистон

Мақола ба масъалаи таҷдиди акустикии театри кушода дар мисоли театри кушода, воқеъ дар кучаи Исмоили Сомони ш. Душанбе бахшида шудааст. Дар мақола нишондиҳандаҳои асосии баҳодиҳии шароити акустикӣ дар толорҳо, инчунин усулҳои ташаккули муҳити мусоиди акустикӣ дар театрҳои кушода оварда шудаанд. Корҳо онди муоина ва таҳлили ҳалли меъмориву-тарҳӣ ва ҳолати сатҳи дохилии конструкцияҳои ихтосавӣ гузаронида шуда, ҳисобҳои мувофиқи муҳити акустикии мавҷуда барои театр анҷом дода шудаанд. Инчунин, натиҷаи корҳои иҷрогардида оварда шудаанд ва аз рӯи натиҷаи онҳо ҳулоса карда шуд, ки театри баррасишаванда аз рӯи параметрҳои акустикӣ ташаккули мусоиди муҳити акустикиро таъмин карда наметавонад ва таҷдиди мувофиқи акустикӣ зарур мебошад. Дар асоси натиҷаҳои корҳои иҷрогардида тавсияҳо барои таҷдиди акустикии театри кушода таҳия карда шудаанд.

Калидвожаҳо: акустика, театри кушода, таҷдид, сохтори инъикосҳо, ревербератсия, диффузнокӣ, артикулятсия.

FEATURES OF ACOUSTIC RECONSTRUCTION OF AN OPEN THEATRE

A. R. Fazilov

Tajik Technical University named after Academician M.S. Osimi, Dushanbe, Republic of Tajikistan

This article examines the acoustic renovation of an open-air theater, using the open-air theater on Ismoili Somoni Street in Dushanbe as an example. It presents the key criteria for assessing acoustic conditions in theater halls, as well as specific approaches and methods for creating a favorable acoustic environment in open-air theaters. A survey and analysis of the existing architectural layout and the interior surfaces of the open-air theater's enclosing structures were conducted, and corresponding calculations of the existing acoustic conditions were performed. The results of the work are presented, concluding that the theater, based on its key acoustic parameters, does not provide a favorable acoustic environment and requires appropriate acoustic renovation. Based on these findings, recommendations for the acoustic renovation of the open-air theater were developed.

Keywords: acoustics, open-air theater, reconstruction, reflection structure, reverberation, diffusion, articulation.

Введение

Театр – это одно из достопримечательностей любого древнего и современного города, является центром притяжения и культурной жизни в системе градостроительной застройки.

Открытые театры, появление и возведение которых восходит к глубокой древности, заслуживают внимания и интерес простотой и логикой пространственного решения, хорошими акустическими качествами, свидетельствующими о глубоких знаниях зодчих древности закономерностей распространения звуков в атмосфере.

Средства, при помощи которых античные зодчие достигали хорошей акустики, по своему характеру можно разбить на два вида: первый связан с выбором места строительства, с учетом особенностей атмосферной акустики; второй — с использованием отраженной звуковой энергии, для создания оптимального звукового поля.

Целью настоящей работы является исследование условий формирования акустического режима при реконструкции открытого театра (амфитеатра) по улице Исмоили Сомони в г. Душанбе.

Вместимость реконструируемого открытого театра - 1400 чел. К особенностям зала открытого театра можно отнести то, что он представляет собой полуоткрытый зал (открыта

центральная часть потолка), а также его многофункциональность. Решение театра в виде полуоткрытого зала требует учета акустических требований, предъявляемых как к закрытым, так и открытым залам. Функциональное назначение зала амфитеатра – речевые и музыкальные представления со звукоусилением и без него; звуковое сопровождение кинофильмов и т.д.

Материалы и методы исследования

Основными показателями акустической обстановки в залах являются: качество отражений звуков от внутренних поверхностей (однократные отражения); количественная характеристика времени реверберации; уровень диффузности звукового поля и артикуляция речи.

Наряду с этим акустическое проектирование открытых театров в дополнение к отмеченным выше требованиям (показателям) имеет свои особые подходы, способы формирования благоприятной акустической среды.

В частности, хорошая акустика открытых театров достигается совокупностью следующих архитектурных и конструктивных средств и факторов, обусловленных следующими параметрами:

- а) выбор места строительства с учетом особенностей атмосферной акустики:
 - использование местности для размещения амфитеатра (с нужным углом подъёма) на естественном основании;
 - окружение чаши амфитеатра широкой полосой зелени, насыпями и т.п., защищающими её от внешних (городского и транспортного) шумов;
 - удаление от высоких естественных преград или строений, могущих создать эхо, фокусирование или вредные звуковые отражения;
 - учёт особенностей атмосферной акустики;
 - б) использование отраженной звуковой энергии:
 - максимальное сохранение естественности звучания;
 - максимальное приближение слушателей к сцене;
 - отсутствие преград на пути распространения прямых и отраженных звуков;
 - форма и отделка сцены, способствующие полному использованию отраженных звуков для улучшения слышимости;
 - проектирование сцены в виде акустической раковины;
 - применение опрокинутых открытой частью вниз сосудов по типу резонаторов Гельмгольца (голосники), резонирующие на звуки определенной частоты и способствующие оживлению звучания;
 - устройство резонирующей галереи по периметру амфитеатра по типу резонаторов Гельмгольца.
- Акустическое проектирование реконструируемого открытого театра должно включать:
- оценку габаритов и формы амфитеатра при соблюдении общих требований к объемно-планировочному решению зала;
 - проверку достоверности оценки акустики зала по статистической теории;
 - расчет частотной характеристики времени реверберации зала;
 - графический анализ чертежей зала с требуемой корректировкой проекта в части формы и очертаний его ограждающих конструкций;
 - разработку мероприятий по улучшению диффузности звукового поля;
 - расчет акустических показателей для установления соответствия их зонам оптимальных значений;
 - оценку шумового режима театра с разработкой необходимых мероприятий по его улучшению.

При акустическом проектировании открытых театров необходимо учитывать: особенности распространения звука в различных атмосферных условиях; акустические характеристики окружающей местности (шумовой фон, эпизодические шумы и т.д.); универсальность назначения открытых театров, используемых для концертных, оперно-драматических, хореографических, хоровых выступлений, демонстраций кинофильмов и т.д. При распространении сферических волн от точечного источника звука разница в уровнях звукового давления ΔL в точках, находящихся от источника на расстоянии l_1 и l_2 , определяется по формуле

$$\Delta L = 20 \lg(l_1/l_2), \text{ дБ.}$$

Результаты исследования и выводы

Результаты обследования и анализа существующего состояния архитектурно-планировочного решения и пластики внутренних поверхностей ограждающих конструкций приведены на рисунке 1 и в таблице 1.

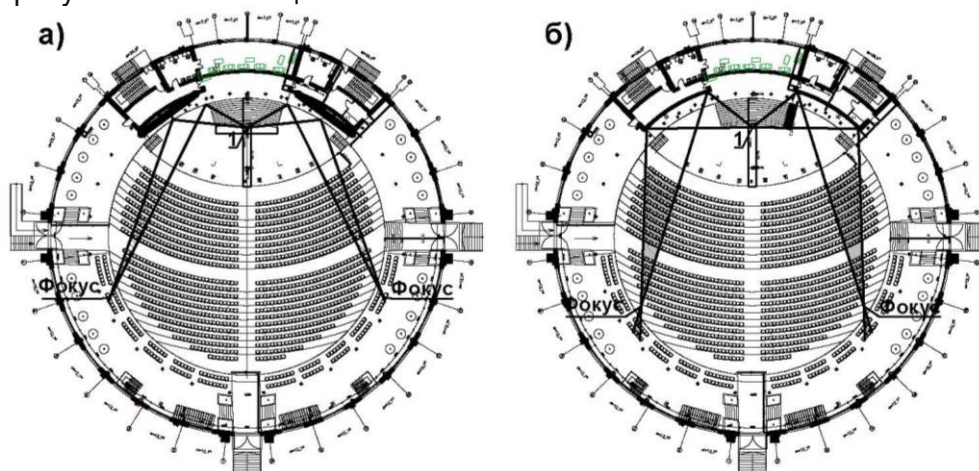


Рисунок 1 - План зала открытого театра до реконструкции с однократными отражениями от боковых стен вблизи сцены (а) и с однократными отражениями от нижней зрительской части боковых стен (б)

Figure 1 – Plan of the Open-Air Theater Hall Before Reconstruction with Single Reflections from the Side Walls Near the Stage (a) and Single Reflections from the Lower Audience Area of the Side Walls (b)

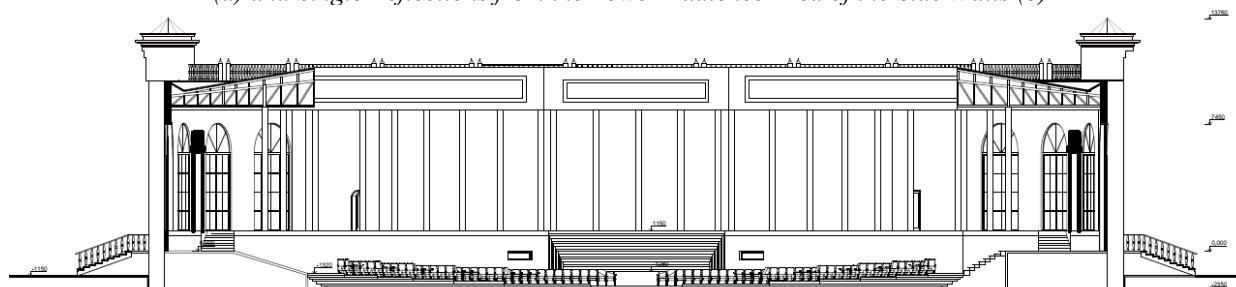


Рисунок 2 – Поперечный разрез зала театра с видом на сцену
Figure 2 – Cross-Section of the Theater Hall with a View Toward the Stage

На рисунке 1 показаны точки, где возможно образование фокусов звуков.

С учетом анализа и учета данных таблицы 1 следует отметить, что в зале будут формироваться неудовлетворительные акустические условия [3, 6, 7].

Основные факторы, являющиеся причиной неблагоприятной акустики рассматриваемого открытого театра и невыполнения основных акустических критериев, приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Существующие условия акустического режима и проблемы, возникающие в зале

№ пп	Параметр зала	Характеристика (величина)	Акустические недостатки	Возможность устранения недостатков
1	Форма зала в плане	круглая	а) фокусирование звука; б) появление эха; в) обратные звуки, отражающиеся от задних, торцовых стен; г) в зоне галереи шириной 5,0 м за счет многократных отражений образуется чрезмерно гулкое звуковое поле	а) акустическая реконструкция; б) изменение акустической отделки и конфигурации внутренних стен
2	Габаритные размеры:			

№ пп	Параметр зала	Характеристика (величина)	Акустические недостатки	Возможность устранения недостатков
	а) длина, м	42,0	длина зала превышает оптимальную, равную 30,0-34,0 м для рассматриваемой вместимости зала	корректировка пластики внутренних поверхностей стен
	б) ширина, м	54,0	ширина превышает оптимальную, равную величине не более длины зала	корректировка пластики внутренних поверхностей стен
	в) высота, м	10,0	приемлема	-
3	Объем, м ³	21249,6	оптимальный объем из расчета 4-6 м ³ /чел. должен составлять 6х1400=8400 м ³	изменить функциональное использование периметральной галереи
4	Пластика внутренних поверхностей стен	Вогнутая криволинейная поверхность	а) существует опасность концентрации отражений звуков, фокусирование отраженных звуков и образование эха	корректировка пластики внутренних поверхностей стен
			б) однократные отражения от боковых стен скользят вдоль стены, не попадая в среднюю часть зала	изменение конфигурации внутренних стен
			в) значительная раскрытость боковых стен около сцены способствует неравномерному распределению отражений	изменение конфигурации внутренних стен
			г) криволинейные поверхности стен галереи способствуют большому запаздыванию отражений	изменение конфигурации внутренних стен
			д) неудачная форма потолка над сценой не способствует оптимальному распределению отражений.	изменение акустической отделки потолка
			е) образуются сильно запаздывающие отраженные звуки	изменение акустической отделки внутренних поверхностей
			ж) задняя стена фокусирует отраженные звуки, создавая отчетливое эхо в передних рядах	изменение акустической отделки внутренних поверхностей
			и) в передние ряды приходят и вторые отражения с большим временем запаздывания, нарушая слышимость	изменение акустической отделки внутренних поверхностей
			к) от части потолка над сценой возникают нежелательные обратные отражения в сторону сцены	изменение акустической отделки внутренних поверхностей
			л) отражения звуков от задней поверхности стен аръерсцены сильно запаздывают по отношению к прямым звукам и приводят к появлению многочисленных эхо в различных зрительских местах зала	изменение акустической отделки внутренних поверхностей с применением звукопоглощающих и звукоотражающих материалов и конструкций, а также способствующих улучшению диффузности звукового поля
			В галерее за счет многократных отражений от стен и потолка и сильного запаздывания образуется чрезмерная гулкость	отделка внутренних поверхностей с применением звукопоглощающих материалов и конструкций
5	Время реверберации		на частотах от 250 до 2000 Гц превышает допустимую величину в среднем на 20%	необходимо проверить расчетом
6	Диффузность звукового поля		не обеспечена	изменение конфигурации внутренних поверхностей стен с членением на отдельные элементы малых размеров, изменение акустической отделки внутренних поверхностей с применением

№ пп	Параметр зала	Характеристика (величина)	Акустические недостатки	Возможность устранения недостатков
				звукопоглощающих и звукоотражающих материалов и конструкций
7	Артикуляция (разборчивость речи)		низкая разборчивость вдоль боковых стен	акустическая реконструкция

Из таблицы 1 видно, что существующая форма зала и кривизна внутренних поверхностей не позволяют улучшить акустические условия в зале. При этом в процессе реконструкции театра путем акустического проектирования можно добиться устранения отдельных акустических дефектов и улучшить акустическую обстановку.

Обсуждение

Подробно рассмотрены пути улучшения акустического режима в театре, исключения неблагоприятных акустических дефектов, формирования акустических условий, обеспечивающих соответствие основным акустическим требованиям. Хорошая акустика открытых театров зависит от:

- правильного выбора площадки для возведения открытого театра;
- соответствующего акустического проектирования с учетом всех действующих требований и основных акустических критериев.

Учитывая, что Республика Таджикистан характеризуется жарким климатом, проектирование и возведение открытых театров (амфитеатров) имеют хорошие перспективы в будущем. В связи с этим результаты настоящей работы могут явиться хорошим ориентиром для применения в градостроительной практике.

Заключение

По результатам проведенных исследований, выполненных расчетов и обследования архитектурно-планировочного решения и пластики внутренних поверхностей ограждающих конструкций рассматриваемого открытого театра сделан вывод о том, что рассматриваемый театр по основным акустическим параметрам не отвечает действующим требованиям и необходимо проведение соответствующей акустической реконструкции.

Исходя из этого, для обеспечения оптимальных условий акустического режима в амфитеатре разработаны следующие рекомендации (см. рисунки 3 и 4):

1) Изменение конфигурации (криволинейное вогнутое очертание) нижней части боковой стены около сцены, путем её замены на плоскую стену, и созданием акустического экрана Эк1 (см. рисунок 3). Серьезными недостатками существующей стены являются:

- незначительная эффективная зона полезных ранних отражений;
- появление фокусов, а впоследствии и эха;
- полезные ранние отражения звуков при расположении источника звука в аррьерсцене направлены в зону, где отсутствуют зрительские места, т.е. эффективность равна нулю. Кроме того, в пустой галерее будет возрастать гулкость, создавая тем самым шум.

Из рисунков 3 и 4 видно, что данное мероприятие позволит:

- существенно увеличить эффективную зону полезных ранних отражений;
- исключить появление фокусов, а впоследствии и эха.

При этом следует отметить, что наибольшая эффективность акустического экрана Эк1 достигается при расположении источника звука на аррьерсцене.

2) В части боковой стены, располагающейся ниже галереи следует стены круглой формы заменить на стену ломаного профиля и создать плоские акустические экраны Эк2 - Эк6 (см. рисунок 3). Серьезными недостатками существующей стены являются:

- незначительная эффективная зона полезных ранних отражений;
- появление фокусов, а впоследствии и эха.

При периодическом изменении положения источника звука, фокус (эхо) будет возникать в различных точках зала.

Из рисунков 3 и 4 видно, что данное мероприятие позволяет решить следующие задачи:

- существенно увеличить эффективную зону полезных ранних отражений;
- исключить появление фокусов, а впоследствии и эха.

3) Для эффективной работы акустических экранов Эк2 –Эк6, эти экраны в пределах секторов А и Б следует продолжить выше отметки пола галереи на величину 500 мм и выполнить из того же материала, что и нижняя часть этих акустических экранов Эк2 – Эк6.

4) Отделка звукопоглощающими материалами и/или конструкциями криволинейной вогнутой конфигурации части стены за арьерсценой. Серьезными недостатками существующей стены являются:

- чрезмерное запаздывание отраженных звуков, что приведет к появлению эха;
- появление обратных звуков, нарушающих условия слышимости звука.

При периодическом изменении положения источника звука (за исключением расположения источника арьерсцене), фокус (эхо) будет возникать в различных точках зала.

Данное мероприятие позволяет решить следующие задачи:

- исключить появление эха и обратных сильно запаздывающих звуков;
- создание оптимального реверберационного процесса;
- обеспечение диффузности звукового поля;
- обеспечение артикуляции (разборчивости) речи.

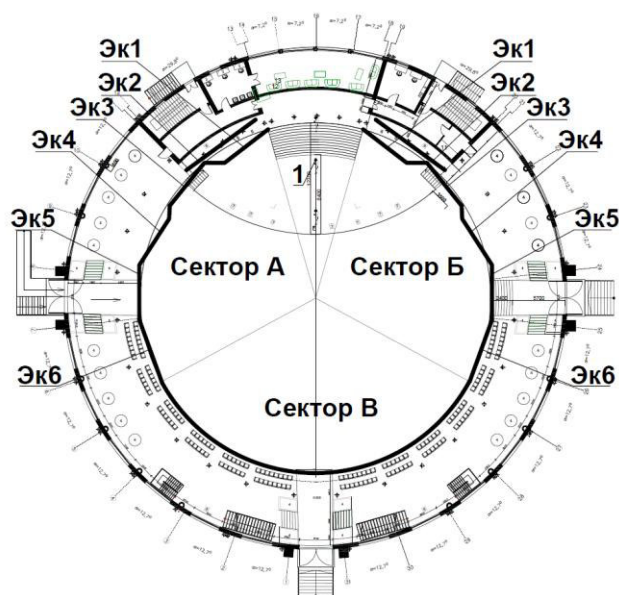


Рисунок 3 - Размещение акустических плоских экранов Эк1 – Эк6 на уровне партера и зона эффективных отражений звуков от проектируемых экранов (сектора А, Б и В)

Figure 3 – Arrangement of Acoustic Flat Screens E1–E6 at the Parterre Level and the Zone of Effective Sound Reflections from the Designed Screens (Sectors A, B, and C)

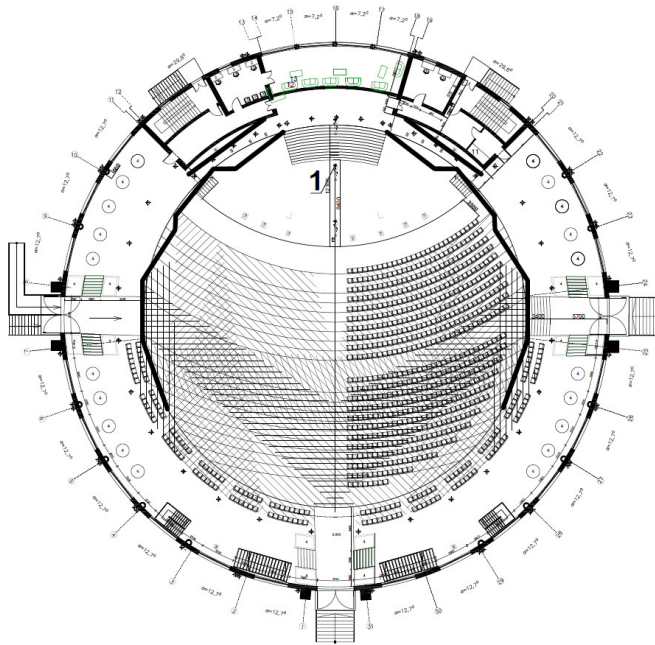


Рисунок 4 - Размещение плоских акустических экранов

Эк1 – Эк6 на уровне пола галереи и зона эффективных отражений звуков от проектируемых экранов

Figure 4 - Placement of flat acoustic panels Ek1 – Ek6 at the gallery floor level and the zone of effective sound reflections from the projected panels

5) Акустическую отделку внутренних поверхностей зала следует выполнить преимущественно конструкциями из звукопоглощающих материалов и изделий с последующим расчетом времени реверберации и сравнением с оптимальной величиной.

6) При акустической отделке внутренних поверхностей зала следует учесть необходимость обеспечения диффузности звукового поля, что требует расчленения внутренних поверхностей на отдельные выступающие элементы.

7) По результатам выполненных расчетов и принятых конструктивных решений следует дать оценку артикуляции (разборчивости) речи.

8) Предложенное в рекомендациях новое проектное решение рассматриваемого открытого театра со зрительскими местами следует считать более оптимальным как с точки зрения акустики, так и условий видимости и зрительного восприятия.

Рецензент: Умарзода У.Х. – к.т.н., первый заместитель председателя Комитета по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан

Литература

1. СП 415.1325800.2018. Здания общественные. Правила акустического проектирования. Москва, 2018. Утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 15 ноября 2018 г. №728/пр и введен в действие с 16 мая 2019 г. – 33 с.
2. Межгосударственные строительные нормы МСН 2.04-03-2003 (СНиП 23-03-2003) «Защита от шума». НИИСФ РААСН. -М.: ФГУП ЦПП. С. 34.
3. Руководство по акустическому проектированию залов многоцелевого назначения средней вместимости. НИИСФ Госстроя СССР. 2-е издание., исправл. и доп. -М., 1981. С. 47.
4. Строительные нормы и правила Республики Таджикистан СНиП РТ 31–02–2022 «Общественные здания и сооружения» / Комитет по архитектуре и строительству при Правительстве Республики Таджикистан. – Душанбе: ГУП «НИИСА» /Издательство: «Издательский центр», 2023 г. – 58 стр.
5. Ашурзода, Б.С. Тавсияҳои оиди беҳгардонии тавсифоти акустикии биноҳои ҷамъиятӣ / Б.С. Ашурзода, Н.Н. Хасанов, Р.Х. Пирматов, З.А. Чумаева // Паёми политехникӣ. Бахши: Таҳқиқоти муҳандисӣ. – 2025. – № 4(72). – С. 216–220.
6. Гусев, Н.М. Основы строительной физики / Н.М. Гусев. – М.: Стройиздат, 1975. – 278 с.

7. Ковригин С.Д., Архитектурно-строительная акустика / С.Д. Ковригин, С.И. Крышов. – М.: Высшая школа, 1986. – 256 с.
8. Архитектурная физика / под ред. Н.Ф. Оболенского. – М.: Стройиздат, 2005. – 443 с.

References

1. SP 415.1325800.2018. Zdaniya obshchestvennyye. Pravila akusticheskogo proyektirovaniya [Safety Rules 415.1325800.2018. Public buildings. Rules for acoustic design]. Moscow, 2018. Approved by Order of the Ministry of Construction, Housing and Utilities of the Russian Federation No. 728/pr dated November 15, 2018; entered into force on May 16, 2019. 33 p.
2. Mezhsudarstvennyye stroitel'nyye normy MSN 2.04-03-2003 (SNIp 23-03-2003) «Zashchita ot shuma» [Interstate Building Codes MSN 2.04-03-2003 (SNIp 23-03-2003) "Protection against noise"]. NIISF RAASN. Moscow: FGUP TsPP. P. 34.
3. Rukovodstvo po akusticheskomu proyektirovaniyu zalov mnogotsелеvogo naznacheniya sredney vmestimosti [Guidelines for the acoustic design of medium-capacity multipurpose halls]. NIISF Gosstroya SSSR. 2nd edition, revised and enlarged. Moscow, 1981. P. 47.
4. Stroitel'nyye normy i pravila Respubliki Tadjikistan SNIp RT 31–02–2022 «Obshchestvennyye zdaniya i sooruzheniya» [Building Codes and Regulations of the Republic of Tajikistan SNIp RT 31-02-2022 "Public buildings and structures"]. Committee for Architecture and Construction under the Government of the Republic of Tajikistan. Dushanbe: GUP "NIISA" / Publishing Center, 2023. 58 p.
5. Ashurzoda, B.S. Recommendations for Improving the Acoustic Characteristics of Public Buildings / B.S. Ashurzoda, N.N. Khasanov, R.Kh. Pirmatov, Z.A. Jumayeva // Polytechnic Bulletin. Series: Engineering Research. – 2025. – № 4(72). – P. 216–220.
6. Gusev, N.M. (1975). Osnovy stroitel'noy fiziki [Fundamentals of building physics]. Moscow: Stroyizdat. 278 p.
7. Kovrigin, S.D., & Kryshov, S.I. (1986). Arkhitekturo-stroitel'naya akustika [Architectural and building acoustics]. Moscow: Vysshaya Shkola. 256 p.
8. Obolensky, N.F. (Ed.). (2005). Arkhitekturnaya fizika [Architectural physics]. Moscow: Stroyizdat. 443 p.

МАЪЛУМОТ ДАР БОРАИ МУАЛЛИФ - СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ - INFORMATION ABOUT AUTHOR

TJ	RU	EN
Фазилов Анвар Рахматджанович	Фазилов Анвар Рахматджанович	Fazilov Anvar Rakhmatjanovich
н.и.т., дотсенти кафедраи меъмории биноҳо ва иншоот	к.т.н, доцент кафедры «Архитектура зданий и сооружений»	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Architecture of Buildings and Structures
Донишгоҳи техникии Тоҷикистон ба номи академик М.С. Осимӣ	Таджикский технический университет имени академика М.С. Осими	Tajik technical university named after academician M.S. Osimi
E-mail: niisa-fozilov@mail.ru ORCID Id 0000-0002-3683-5494		