

Особенности акустического проектирования зрительных залов малой вместимости

О.Г. Тарасова

*Кубанский государственный аграрный университет
им. И. Т. Трубилина*

Аннотация: Современные технологии демонстрации кино изменили представление о пространстве зрительного зала. Многоканальная цифровая стерео-демонстрация, использование подвижных платформ для посадочных мест создали условия для проектирования зрительных залов малой вместимости с круглой формой плана. Стеновые ограждающие конструкции в этом случае имеют форму внутренней поверхности цилиндра. Отделка акустическими плитами по каркасу трудоемкая и не всегда позволяет повторить форму ограждения. Исследование применения отечественных материалов, удобных для выполнения отделочных работ и рекомендации выбора рационального применения, различных по свойствам акустических строительных систем, позволило получить результаты, при которых будут обеспечены наилучшие условия слышимости в кинозале.

Ключевые слова: кинотеатр, зрительный зал, акустика помещения, звукопоглощающий материал, коэффициент звукопоглощения, среднегеометрическая частота, мягкая акустическая плита.

Актуальность исследований, направленных на восстановление и развитие отечественного кинематографа обоснована тем, что утрачивается традиция регулярно посещать кинотеатр [1].

Интерес к кинематографу у посетителей проявляется при демонстрации фильмов с применением новых технологий. Проблема заключается в том, что в настоящее время применяется иностранная техника с соответствующим программным обеспечением. Единственный путь выхода из сложившегося положения - это восстановление отечественного производства [2].

Цель выполняемых исследований состоит в разработке рекомендаций по применению отечественных акустических материалов при проектировании залов малой вместимости.

В работе проанализированы и выявлены основные тенденции в развитии кинематографа и проведены исследования по применению систем акустической отделки отечественного производства.

В небольших городах и поселках целесообразно проектировать залы малой вместимости, от 10-25 до 100 человек.

Стремление создать максимально комфортные условия для просмотра фильмов у себя дома привело к появлению интереса к созданию домашнего кинотеатра. Исследования по увеличению зоны комфортной слышимости для «домашнего кинотеатра» направлены на применение различных вариантов конструкций акустических систем, взамен традиционных акустических систем и в качестве дополнения к комплексам «DOLBY» [1].

При проектировании кинозалов малой вместимости на акустику влияют параметры помещения и пропорции по основным размерам. Параметры помещения необходимо принимать, руководствуясь нормативными требованиями СП 309.1325800. 2017 «Здания театрально-зрелищные. Правила проектирования». Дата введения 2018-03-02 и СНиП II-73-76 «Кинотеатры» дата актуализации: 01.01.2021. Следует отметить, что применение современного оборудования далеко не всегда дает возможность выполнить эти нормативные требования.

Помещение зала при первом уровне комфортности по площади рассчитывают исходя из нормы $1,2 \text{ м}^2$ на 1 место. Такая норма не позволяет проектировать зрительные залы малой вместимости с современными требованиями к аппаратуре и проекции.

Понятие виртуальной реальности стало неотъемлемой частью демонстрации фильмов. Кинематографическая виртуальная реальность создаётся не только очками и шлемами, но и другими средствами визуализации, работающими по любым физическим принципам [2].

Оборудование кинотеатров в основном создает 3–5D, а в новых предприятиях уже используют и 6–8D демонстрацию [3]. Такой вид проекции требует принципиально нового оборудования зала. Одним из широко используемых средств создания виртуальной реальности являются

принципиально новые кресла, которые устанавливаются на подвижные платформы. Эти механизмы усиливают эффекты восприятия, как изображения, так и звуков. Платформы с тремя степенями свободы при движении совершают повороты, качание в две стороны и опрокидывание вперед и назад.

Определяя общее количество кресел необходимо учитывать диаметр и радианы экрана. Наименьший «Радиан / Диаметр» экрана для кресел 4D составляет $180^\circ / 18$ м. позволяет обеспечить условия видимости при размещении в зале от 60 до 120 кресел. Набольшие параметры «Радиан / Диаметр» экрана $240^\circ / 24$ м соответствуют вместимости от 100 до 180 человек.

Площади помещений при 180° радианах соответственно рассчитываются при диаметре экрана 18 м. по параметрам длины, ширины и высоты 24 x 20 x 6,6 м. При диаметре экрана 24 м. эти параметры, соответственно, будут 28 x 26 x 8,5 м., таким образом, современное оборудование зрительных мест позволяет размещать в малых залах не менее 60 кресел.

Условия полного звукового окружения в сочетании с ранее рассмотренными эффектами от посадочных мест делают малые залы наиболее привлекательными для зрителей. Различные требования к восприятию звуковых эффектов требуют решений, при которых прямой звук должен быть обогащен первыми отражениями [4].

В современных условиях необходимо разрабатывать такие решения, при которых прямой звук будет обогащен первыми отражениями с небольшой длиной свободного пробега звуковых лучей, при этом многократно отраженные волны должны быть хорошо поглощены. Разборчивость речи также должна быть высокой и звуки помещения не следует заглушать.

Такие разнонаправленные и довольно сложные задачи нельзя решать, облицовывая поверхности акустическим материалом одного вида. Хотя именно так делают довольно часто.

Электроакустические системы имеют отдельные каналы, позволяющие воспроизводить различные звуковые эффекты, и обеспечивают полное звуковое окружение. Широко применяемые системы Dolby Surround, Dolby Digital, THX требуют проектирования помещений, в которых будет обеспечена строительная акустика.

В залах с 4D и 5D-демонстрацией эффекты зрительные и звуковые создают дополнительные впечатления. Акустические материалы отделки могут существенно менять эти впечатления, приглушать звук или наоборот усиливать.

Особенности акустической и зрительной подачи фильма привели к еще одному радикальному изменению представления о зрительном зале. Окружение стали создаваться не только акустическое, но и зрительное, в результате довольно часто используется круглая в плане форма зала, а стеновое ограждение представляет собой внутреннюю поверхность цилиндра.

Оборудование для посадки зрителей и воспроизведение звука изменили и требования к экрану, что повлекло изменение его формы. Цилиндрические экраны повысили качество изображения, и внесли еще больше реализма в ощущения.

Проекция изображения располагается по центрам секций цилиндрического экрана, варьируя от 0° до 360° . Параметры зала и экрана с диаметром от 7 до 25 и более метров соответствуют вместимости от 20 до 220 человек. Экраны 180° , 240° , 300° , и 360° радиан, обеспечивают от частичного до полного визуального окружения. При 6-8 каналах используется цилиндрический экран 180° - 240° радиан.

Видео поток при генерировании цилиндрического изображения на экраны 300° - 360° может проходить при использовании от 10 до 12 каналов.

Получив в конечном итоге изогнутую форму, имеем наиболее неблагоприятные характеристики формы и параметров зала для акустики помещения.

Выбор рациональной акустической отделки, которая с учетом специфики звукового воспроизведения в кинозале, обеспечит наилучшие условия слышимости, становится весьма актуальной задачей.

Проводимое исследование направлено на получение новых сведений о применении современных акустических материалов в кинозалах малой вместимости при круглой форме их плана. В таких кинозалах стены помещения имеют форму внутренней поверхности цилиндра. Наиболее подходящими для применения материалами будут мягкие акустические плиты, которые можно крепить к внутренним поверхностям ограждающих стеновых конструкций.

При изучении свойств различных материалов выделены два типа по их общим акустическим характеристикам. Рассмотрены отделки акустическим поролоном и древесноволокнистыми панелями.

Звукопоглощающие свойства пористых материалов зависят от их структуры. При изготовлении, помимо основной сети пор, образуются микропоры, как побочный эффект. Двойная пористость не является препятствием для разработки акустических материалов [5, 6].

Потолочные и стеновые микроперфорированные панели имеют хорошие характеристики звукопоглощения и могут успешно применяться в кинозалах.

Однослойные конструкции имеют ограничения по частотам и недостаточно эффективны. Установлено, что многослойная панель может

обеспечить более широкую полосу звукопоглощения, что способствовало ее применению во многих областях [7].

Для изучения свойств и характеристик акустических материалов выбраны две акустические системы Российского производства «Флексакустик» и панели Soundec (Саундек).

Свойства этих материалов определены лабораторией «Акустики и вибрации» ИЦ «ТИСИ» (Беларусь) и «Лабораторией архитектурной акустики и акустических материалов НИИ СФ» (Россия) [8, 9].

Акустический поролон «Флексакустик» плотностью 30 кг/м^3 представляет собой мягкий материал в виде плит, имеющих различный по форме профиль рельефа поверхности обращенной в помещение. Рассмотрены четыре вида: «Квадрат- 30»; «Волна-30»; «Пирамида-50»; «Пирамида-70» [10].

При испытаниях материал располагался непосредственно на поверхности. Такой способ крепления является наиболее подходящий при отделке изогнутых поверхностей. Рассмотренные характеристики позволят дать рекомендации, подходящие для помещений, имеющих форму круглого или овального плана. Крепление отделочных плит осуществляется с помощью специального клея непосредственно к поверхности стен.

Характеристики материала каждого вида, по форме профиля рельефа лицевой поверхности, представлены в виде графиков на рис. 1.

Реверберационный коэффициент звукопоглощения при различных профилях рассматриваемых образцов существенно различается по среднегеометрическим частотам. Следует отметить, что на низких частотах от 100 до 160 Гц показатели примерно одинаковые.

Материалы с одинаковой толщиной 30 мм отличаются свойством поглощать звуковую энергию практически на всех частотах. Звукопоглощающие свойства материала с рельефом «Волна» отличаются

более низкими значениями по сравнению с рельефом «Квадрат». На частотах от 400 до 2000 Гц. отличие существенное. Наибольшая разность коэффициентов звукопоглощения имеет место на частотах 500 и 800 Гц. и составляет 0,21. Одинаковые значения коэффициента звукопоглощения для этих материалов на частоте 2500 Гц. На высоких частотах различие незначительное, но более высокие значения дает «Квадрат».

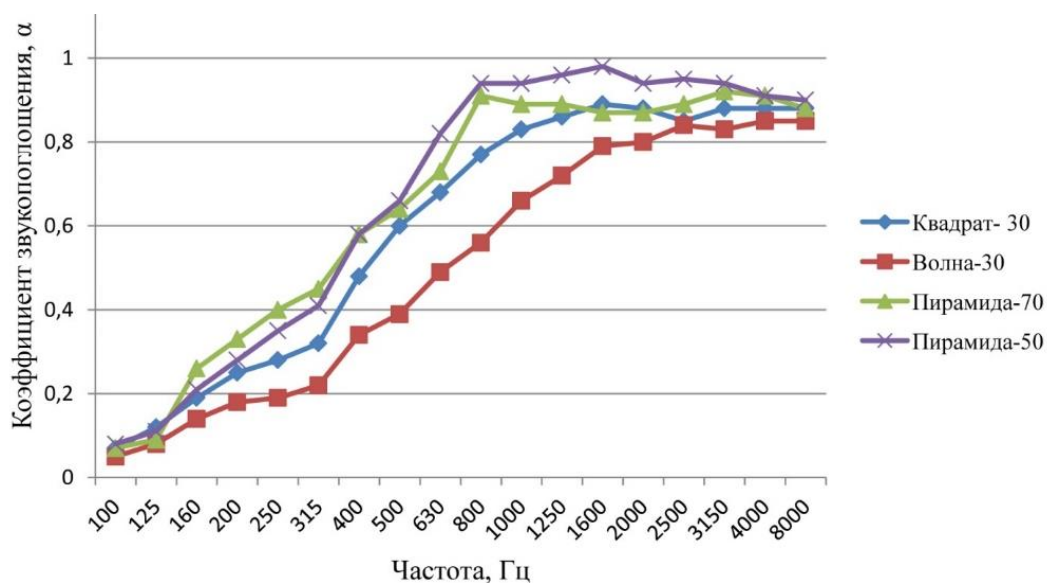


Рис. 1 – Акустический поролон «Флексакустик» плотностью 30 кг/м³

Выбирая, между этими двумя профилями, предпочтение следует отдавать рельефу «Квадрат» (рис. 2).

Применение акустического поролона «Флексакустик» с рельефом «Пирамида» двух толщин позволит повысить звукопоглощение на средних частотах, при этом толщина 50 мм и 70 мм на частотах от 100 до 500 Гц дают примерно одинаковый эффект. От 500 Гц и выше, при толщине 50 мм материал более эффективен по сравнению с 70 мм. На частоте 800 Гц «Пирамида – 70» дает максимальное поглощение, которое меньше или не меняется с дальнейшим ростом частоты. Материал «Пирамида – 50» более эффективен на высоких частотах.

Выбирая облицовку рельефа «Пирамида», предпочтение следует отдавать толщине 50 мм. Максимальное поглощение на частоте 1600 Гц составит 0,98.

Из четырех рассмотренных типов профилей акустического поролона «Флексакустик» наиболее рационально выбрать материал «Пирамида – 50». Параметры профиля поверхности «Пирамида – 50» представлены на рис. 3.

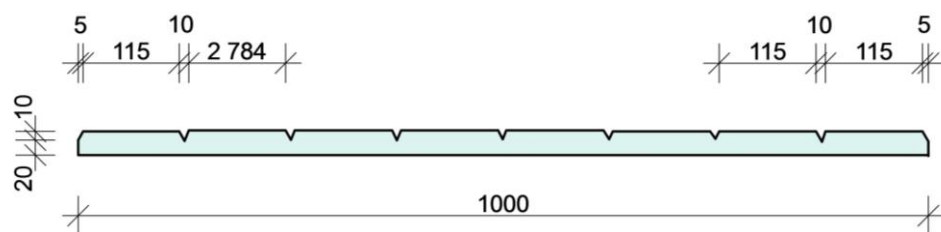


Рис. 2 – Профиль акустического поролона «Флексакустик» «Квадрат – 30»

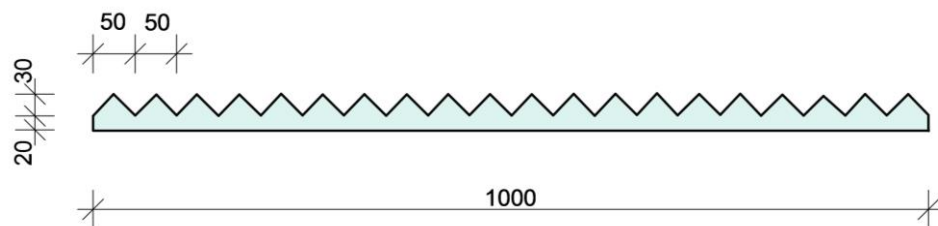


Рис. 3 – Профиль акустического поролона «Флексакустик»
«Пирамида – 50»

Дальнейшее исследование направлено на решение звукопоглощения на низких частотах, так как рассмотренные виды отделки из материала «Флексакустик» на этих частотах не эффективны.

В этой же категории материалов изготавливают басовые ловушки «ППУ Акустик». На частоте 100 Гц. коэффициент звукопоглощения составляет 0,48.

Возможно комплексное решение – использование басовых ловушек «ППУ Акустик» и применение подвесного потолка с хорошим поглощением

звука низких частот. Неудобство монтажа ловушек в том, что их форма рассчитана на размещение по углам помещений, что для рассматриваемой формы зала не подходит. Основное внимание следует уделить системе подвесного потолка.

В качестве подходящего варианта рассматривается подвесной потолок на основе акустических панелей Soundec (Саундек), производство Россия. При их изготовлении используют древесное волокно, цемент и воду.

Акустические свойства потолков существенно зависят от величины отношения от ограждения, толщины панели, ее плотности и внутреннего заполнения звукопоглощающим материалом.

Для исследования выбран «Саундек – 450» с толщиной панели 25 мм и плотностью 450 кг/м^3 . При устройстве потолка на отnose 100 мм. с внутренним заполнением звукопоглощающим материалом из плит АкустиЛайн Файбер с индексом звукопоглощения $\alpha_w = 0,85 (L)$ и толщиной в два слоя по 50 мм. эффективность будет достаточно высокой [11]. Такая конструкция обеспечивает наиболее высокие значения реверберационных коэффициентов звукопоглощения в области низких частот, которые представлены графически на рис. 4. На этом же графике, для удобства визуального сопоставления, приведены значения звукопоглощения материала «Пирамида – 50», закрепленного непосредственно на ограждающей поверхности, в нашем случае на стене. Графики, приведенные на рис. 4, позволяют оценить равномерность звукопоглощения во всем рассматриваемом диапазоне частот, при применении материалов систем «Флексакустик Пирамида – 50» и «Саундек – 450».

Для залов небольшой вместимости, при круглой форме плана наиболее рациональным решением является применение двух акустических систем в отделке стен и потолка – акустического поролона «Флексакустик» и панелей «Soundec» (Саундек).

Наиболее рациональное решение при использовании плит «Пирамида – 50» закрепленных непосредственно на поверхности ограждающих стен зала и подвесного потолка на отnose 100 мм, имеющего внутреннее заполнение звукопоглощающим материалом из плит АкустиЛайн Файбер ($\alpha_w = 0,85$) толщиной 100 мм. с ограждением из панелей «Саундек – 450» толщиной 25 мм. и плотностью 450 кг/м³.

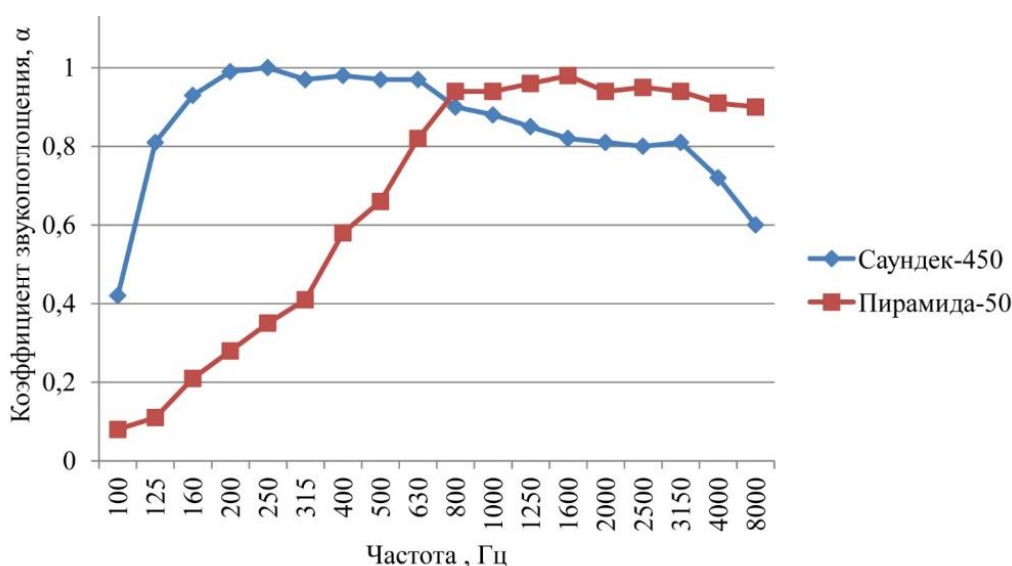


Рис. 4. – Акустические свойства поролона «Флексакустик Пирамида» плотностью 30 кг/м³ и древесно – волокнистых панелей «Саундек» плотностью 450 кг/м³ с отnoseм 100 мм. с заполнением звукопоглощающим материалом

Полученные новые научные сведения о рациональном применении изученных акустических систем, обеспечивающих благоприятное звучание в рассматриваемом диапазоне частот, имеют практическое значение при проектировании зрительных залов малой вместимости.

Выводы

1. При условии правильного сочетания по свойствам звукопоглощения на различных частотах отечественные материалы могут успешно применяться

для создания благоприятных акустических условий в залах сложной формы плана и изогнутых ограждающих поверхностях.

2. Проектирование акустической отделки помещений кинозалов при круглой или овальной форме плана рационально выполнять с применением на стенах акустического поролона «Флексакустик» и потолочных панели Soundec (Саундек).

3. Наиболее эффективное сочетание, обеспечивающее равномерное звукопоглощение по частотам, получено при применении акустического поролона «Флексакустик Пирамида» плотностью 30 кг/м^3 и древесных панелей «Саундек» плотностью 450 кг/м^3 с внутренним заполнением плитами «АкустиЛайн Файбер».

Заключение. Проведенное научное исследование по возможности создания благоприятных акустических условий в зрительных залах малой вместимости, имеющих ограждающие поверхности сложной формы, позволило определить наиболее подходящие отечественные материалы, при использовании которых обеспечивается высокое звукопоглощение на низких, средних и высоких частотах. Рекомендации для проектирования по выбору акустических строительных систем имеют практическое значение для проектирования зрительных залов.

Литература

1. Костин В. Н. Акустические системы пространственного поля (АСПП) // Мир техники кино. 2019. №1 (13). С – 20-24.

2. Раев О. Н. Российский кинематограф и технологии виртуальной реальности // Мир техники кино. 2019. №4 (13). С. – 1-15.

3. Прямов В. В., Розанов А. В. 3D-звук в современном кинематографе // Инновационные технологии в кинематографе и образовании: Научно-практическая конференция, Москва, 29-31 октября 2014 г.: Материалы и доклады под общей редакцией О.Н. Раева. – М.: ВГИК, 2014. С. 39-53.

4. Chandrakala S, Jayalakshmi SL. Environmental audio scene and sound event recognition for autonomous surveillance: A survey and comparative studies. ACM Comput Surv 2019; 52(3):1–34. URL: doi.org/10.1145/3322240.

5. Tomasz G. Zielin, Nicolas Dauchez, Thomas Boutin, Mikel Leturia, Alexandre Wilkinson and others. Taking advantage of a 3D printing imperfection in the development of sound-absorbing materials Applied Acoustics, Volume 197, 2022, Article 108941. URL: doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108941.

6. Lee C-Y, Leamy MJ, Nadler JH. Acoustic absorption calculation in irreducible porous media: A unified computational approach. J Acoust Soc Am, 126:18, 2009, 62-70. URL: doi.org/10.1121/1.3205399.

7. Yang Xiaocui, Bai Panfeng, Shen Xinmin, To Sandy, Chen Liang, Zhang Xiaonan, Yin Qin. Optimal design and experimental validation of sound absorbing multilayer microperforated panel with constraint conditions: Applied Acoustics, 6 December 2018. URL: doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.032.

8. ООО «Акустик Групп». Flexakustik - акустический поролон, звукопоглощающие плиты из ППУ // ООО «Акустик Групп» / Звукоизоляция, шумоизоляция, виброизоляция и акустический комфорт помещений. – М.: 2001-2022 г. – URL: acoustic.kz/productions/ceiling/flexakustik/.

9. Techno sonus. Декоративные акустические панели. – URL: tn-ss.ru/catalog/otdelochnye-akusticheskie-materialy/.

10. Flexakustik - рельефные звукопоглощающие плиты из ППУ // Протоколы акустических испытаний. – URL: acoustic.ru/data/pdf_files/FLEXAKUSTIK_2017.pdf/.

11. Techno sonus Soundec Standart // Протоколы акустических испытаний. – URL: tn-ss.ru/catalog/otdelochnye-akusticheskie-materialy/soundec/soundec-1-mm/#gallery-2-4/.

References

1. Kostin V. N. Mir tekhniki kino. 2019. No. 1 (13). Pp. 20-24.
2. Raev O. N. Mir tekhniki kino. 2019. No. 4 (13). Pp. 1-15.
3. Pryanov V. V., Rozanov A. V. Nauchno-prakticheskaya konferenciya, Moskva, 29-31 oktyabrya, 2014: Materialy i doklady, pod obshchej redakciej O.N. Raeva. M.: VGIK, 2014. pp. 39-53.
4. Chandrakala S, Jayalakshmi SL. A survey and comparative studies. ACM Comput Surv 2019; 52(3): 1–34. URL: doi.org/10.1145/3322240.
5. Tomasz G. Zielin, Nicolas Dauchez, Thomas Boutin, Mikel Leturia, Alexandre Wilkinson and others. Applied Acoustics, Volume 197, 2022, Article 108941. URL: doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108941.
6. Lee C-Y, Leamy MJ, Nadler JH. A unified computational approach. J Acoust Soc Am, 126:18, 2009, pp.62-70. URL: doi.org/10.1121/1.3205399.
7. XiaocuiYang, PanfengBai, XinminShen, SandyTo, LiangChen, XiaonanZhang, QinYin. Applied Acoustics, 6 December 2018. URL: doi.org/10.1016/j.apacoust.2018.11.032.
8. ООО «Акустик Групп». Звукоизolyaciya, shumoizolyaciya, vibroizolyaciya i akusticheskij komfort pomeshchenij. LLC "Acoustic Group". [Acoustic foam rubber, sound-absorbing boards made of polyurethane foam]. M.: 2001-2022. URL: [acoustic.kz/productions/ceiling/flexakustik /](https://acoustic.kz/productions/ceiling/flexakustik/).
9. Techno sonus. Dekorativny`e akusticheskie paneli [Decorative Acoustic panels]. URL: tn-ss.ru/catalog/otdelochnye-akusticheskie-materialy/.
10. Flexakustik. Protokoly` akusticheskix ispy`tanij [Protocols of acoustic tests]. URL: [acoustic.ru/data/pdf_files/FLEXAKUSTIK_2017.pdf /](https://acoustic.ru/data/pdf_files/FLEXAKUSTIK_2017.pdf/).
11. Techno sonus Soundec Standart. Protokoly akusticheskix ispytanij. [Protocols of acoustic tests]. URL: [tn-ss.ru/catalog/otdelochnye-akusticheskie-materialy/soundec/soundec-1-mm/#gallery-2-4 /](https://tn-ss.ru/catalog/otdelochnye-akusticheskie-materialy/soundec/soundec-1-mm/#gallery-2-4/).

