

Акустика малых музыкальных помещений

Л.А. Борисов, Х.А. Щиржецкий, Е.В. Насонова

Задача обеспечения акустического комфорта в малых музыкальных помещениях (музыкальные классы, репетиторские, музыкальные гостиные и т.п. помещения) требуют серьезных и продуманных решений из-за высокого профессионализма преподавательского состава, работающего в таких помещениях, и, как минимум, хорошего ощущения качества передачи музыкальных звучаний, воспринимаемых учащимися.

Проблемы акустики малых музыкальных помещений значительное время были предметом исследований специалистов разных стран, в том числе и лаборатории архитектурной акустики НИИСФ РААСН. Итогом определенного этапа этих исследований стала получившая широкое применение «Инструкция по проектированию средних специальных учебных заведений искусства и культуры» /1/, в которой были представлены рекомендации по оптимальным геометрическим параметрам и примеры акустических решений музыкальных классов для индивидуальных и групповых занятий. К сожалению, приведенные в «Инструкции» рекомендации носили строго прикладной характер. В ней отсутствовал аналитический метод расчета акустики малых помещений, который позволял бы инженеру-акустику самостоятельно проводить акустическое проектирование музыкальных классов и репетиционных помещений. Поэтому дальнейшие теоретические и экспериментальные исследования специалистов НИИСФ были связаны с разработкой аналитического метода расчета частотно зависимых параметров звуковых полей в малых помещениях (диффузность звуковых потоков и равномерность передачи тембров музыкальных звучаний) /2/ на основе статистического анализа собственных частот помещений таких объемов. Вместе с тем, эти исследования, базируясь на чисто физических характеристиках, были недостаточно коррелированы с критериями субъективного восприятия качества звучания того или иного инструмента, или голоса, принятыми в среде профессиональных музыкантов. Среди всей совокупности этих критериев, наиболее распространенным них следует признать критерий «акустической поддержки» помещения, которым исполнители обычно характеризуют сочетание акустической отдачи помещения, т.е. создание звуковой панорамы, громкости, и оптимального динамического диапазона звучания инструмента (голоса), и ка-

чество передачи тембров, воспроизводимых музыкальных программ. /2, 3/.

Исходя из этих предпосылок, можно было предположить, что для разработки аналитического метода расчета акустики малых помещений требуется сочетание требований к геометрическим размерам помещений с принципами статистической и волновой теорий. К такому выводу пришли авторы настоящей работы после проведения в 2005–2008 г.г. экспериментальных исследований в ряде музыкальных классов и репетиционных помещений Московской государственной консерватории им. П.И. Чайковского /4,5/. Объектами исследований служили: классические музыкальные помещения, построенные в 1901 г. при вводе Московской консерватории в эксплуатацию; классы, построенные после пожара 2002 г. и репетиционные помещения в здании общежития консерватории. Методика акустического обследования указанных помещений, кроме тщательного анализа акустического опыта их эксплуатации, включала комплекс акустических измерений, в т.ч. измерения времени реверберации, степени диффузности звуковых полей и структур звуковых отражений. Проведенные исследования доказали необходимость такого сочетания принципов статистической и волновой акустики для объективной оценки их акустических условий в малых помещениях. Сочетание позволяет ввести в рассмотрение такую акустическую характеристику, как «акустическая поддержка» малого музыкального помещения. Составляющими параметрами этой характеристики являются акустическая отдача помещения (громкость звучания) и поддержка тембров воспроизводимых музыкальных сигналов, причем первый параметр оценивается по законам статистической, а второй — волновой акустики.

Практический опыт проведения репетиционного процесса в малых музыкальных помещениях позволяет предположить, что оптимальная громкость максимальных звучаний в таких помещениях достигается при соблюдении условия, когда отношение энергии отраженного от ограждающих конструкций звука к энергии прямого звука находится в пределах 1 ± 2 (или в отношениях уровней звука соответствует величинам $0 - +3$ дБ). Исходя из известных формул архитектурной акустики, это отношение можно записать следующим образом:

$$\frac{\xi_{рев}}{\xi_{пр}} = R = 1 \div 2 \quad (1)$$

$$\text{где } \xi_{рев} = \frac{4P_A(1-\alpha_{треб})}{Sc\alpha_{треб}}; \xi_{пр} = \frac{P_A}{4\pi r^2 c}.$$

Здесь P_A – акустическая мощность источника звука;

$\alpha_{треб}$ – требуемый средний коэффициент звукопоглощения (КЗП) помещения;

c – скорость звука в воздухе;

r – расстояние между источником и приемником звука;

S – суммарная площадь поверхности ограждающих конструкций помещения.

В результате несложных выкладок можно получить

$$\alpha_{треб} = \frac{50r^2}{50r^2 + RS} \quad (2)$$

Задаваясь, как уже отмечалось, $R = 2$ и необходимостью размещения исполнителей вблизи стен классов (т.е. $r \approx 1,0$ м), при учете известной площади ограждений репетиционных помещений по формуле (3) можно получить $\alpha_{треб}$.

Переходя к анализу волновых эффектов, следует обратить внимание на то, что на структуру звуковых полей в малых и в малых объемах комнаты прослушивания существенное значение могут иметь только резонансные свойства воздушного объема помещений. Объясняется это тем, что при весьма ограниченных размерах и традиционном интерьере комнат прослушивания звук как бы «стоит» в них, «расщепляясь» при воспроизведении квазигармонических составляющих музыкальных звучаний на систему собственных и вынужденных колебаний воздушного объема помещений. Такое «расщепление» особенно заметно в диапазоне низких частот, оказывающего определяющее влияние на качество передачи тембров музыкальных сигналов, особенно в случае приближения формы помещения к прямоугольному параллелепипеду с хорошо отражающими звук ограждениями.

При возбуждении в помещении детерминированного периодического или квазипериодического сигнала временную форму звукового давления в каждой точке прямоугольного помещения с равномерно распределенной, слабо поглощающей облицовкой можно представить в виде суперпозиции гармонических комплексных характеристических функций:

$$\bar{P}_{ст}(\omega, x, y, z, t) = B \sum_N \bar{A}_{Nст}(\omega, x, y, z) e^{-j(\omega t + \psi_{Nст})} \quad (3)$$

или действительная часть этого выражения

$$P_{ст}(\omega, x, y, z, t) = B \sum_N A_{Nст}(\omega, x, y, z) \cos(\omega t + \psi_{Nст}) \quad (4)$$

где: $A_{Nст}$ и $\psi_{Nст}$ – нормируемые амплитудные и фазовые коэффициенты, определяемые характеристическими функциями приема и излучения звука; B – общий амплитудный множитель; x, y, z – координаты точки поля, ω – круговая частота вынужденного колебания, t – время.

Совокупность выражений (3–4) во всем диапазоне частот образует частотную и пространственные характеристики помещения, для расчета которых в первую очередь требуется знание функций $A_{Nст}$. Несмотря на то, что в общем случае характеристические функции определяются сложной зависимостью в гиперболическом виде от комплексного аргумента, при идеализации помещения прямоугольным, гладким, почти не поглощающим звук объемом, их можно представить в виде следующих гармонических сомножителей:

$$A_{Nст} = \cos \frac{\pi n_x x}{L_x} \cos \frac{\pi n_y y}{L_y} \cos \frac{\pi n_z z}{L_z} \quad (5)$$

где L_x, L_y, L_z – размеры прямоугольного помещения;

n_x, n_y, n_z – целые числа натурального ряда, тройка которых (N) определяет порядок моды (собственной частоты) помещения.

Выражение (5) определяет форму стоячей волны в помещении.

Если в помещении имеется незначительное поглощение звука (слабое затухание), то спектр амплитуд стоячей волны имеет форму, близкую к частотным характеристикам резонансного контура. Вводя здесь, как принято в акустике, средний квадрат звукового давления (т.е. энергию эквивалентного резонансного контура) и произведя операции квадрирования и суммирования, можно получить следующую формулу:

$$\bar{P}_{ст}(\omega) = \sum_N \frac{A_{Nст}^2 \omega^2}{(\omega^2 - \omega_N^2 + 2K_N^2)^2 + (2\omega_N K_N)^2} \quad (6)$$

где ω_N и K_N – собственная круговая частота и коэффициент затухания N -ой моды;

Учитывая, что в сильно реверберирующих помещениях $K_N \ll \omega_N$, из (6) получим:

$$\bar{P}_{cr}(\omega) = \sum_N \frac{A_{Ncr} \omega^2}{[(\omega^2 - \omega_N^2)\omega]^2 + (2\omega_N K_N / \omega)^2} \quad (7)$$

Из анализа формулы (7) следует, что звуковое поле в помещении будет иметь выраженный резонансный характер в том случае, если $N \rightarrow 1$, т.е. если вблизи каждой вынужденной частоты (или полосы частот) находится только одна собственная частота помещения. Если же в частотный интервал вынужденного колебания попадает много собственных мод помещений, то острота резонансов уменьшается, а при очень большой величине N процесс из детерминированного становится статистическим (исключением являются случаи т.н. вырождения – когда разные тройки чисел попадают на одну и ту же частоту).

Отсюда следует, что точный расчет величин собственных частот помещений и их количественных параметров (общее количество частот в полосе анализа и плотность их распределения по спектру) является одним из основных источников оценки волновых процессов в помещениях. Для расчета собственных частот помещения употребляются следующие формулы:

$$\omega_N = C\pi \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2} \quad (8)$$

или

$$f_N = \frac{\omega_N}{2\pi} = \frac{C}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{L_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{L_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{L_z}\right)^2} \quad (9)$$

(здесь C – скорость звука, f_N – линейная собственная частота порядка $N - n_x, n_y, n_z$)

В помещении возбуждаются волны трех типов:

- 1) осевые (два из параметров n равны нулю);
 - 2) тангенциальные – касательные (один из параметров n равен нулю);
 - 3) косые (все три параметра n не равны нулю)
- Общее количество собственных частот помещения в интервале от 0 до f (текущей частоты) определяется следующей формулой:

$$q(f) = \frac{4\pi V}{3C^2} f^3 + \frac{\pi S}{4C^2} f^2 + \frac{L}{8C} f + O(f) \quad (10)$$

где V , S и L – соответственно объем, площадь и периметр помещения;

$O(f)$ – добавочный член порядка единицы (обеспечивает целочисленность q).

Производная этого выражения определяет плотность собственных частот в интервале от f до $f + df$:

$$\delta q = \frac{dq}{df} \delta f = \left[\frac{4\pi V}{C^2} f^2 + \frac{\pi S}{2C^2} f + \frac{L}{8C} + O'(f) \right] \delta f \quad (11)$$

Из анализа формул (10, 11) следует, что первые члены в них значительно превышают последующие, поэтому без потери общности дальнейших исследований их можно представить в виде:

$$q(f) \approx \frac{4\pi V}{3C^2} f^3; \quad \delta q \approx \frac{4\pi V}{C^2} f^2 \delta f \quad (12)$$

Численные расчеты характеристик f_N , $q(f)$ и δq требуют значительной затраты времени и приводят к множеству расчетных величин даже при анализе весьма небольших помещений в связи с большим набором вариаций изменения параметров N (n_x, n_y, n_z) и $f(\delta f)$.

Поэтому в прикладных расчетах, для оценки критической частоты из общего диапазона исследуемых частот, начиная с которой вполне достаточным является применение принципов статистической акустики, использует упрощенную формулу:

$$f_{кр} \geq 125 \sqrt{\frac{180}{V(\text{м}^3)}} \quad (\text{Гц}) \quad (13)$$

Изложенные выше соображения позволяют разработать следующие методические указания (алгоритм) по оптимизации акустических условий в малых музыкальных помещениях:

- исходя из назначения помещения, типа музыкальных инструментов (или вокала) и количества участников музыкального процесса определяют минимально необходимая площадь помещения, меблировка и вспомогательное оборудование;
- на основании выбора требуемой площади разрабатывают форму помещения, геометрия которого должна соответствовать определенным условиям: высота должна быть не менее 3,9÷4,0 м, пропорции основных размеров помещения (длина, ширина, высота) должны находиться в пределах 1,4÷1,7; минимально допустимый воздушный объем помещения должен быть не менее 60 м³; «глухие» боковые стены помещений должны иметь отклонения от параллельности не менее 10–12°;
- выбранная геометрия помещения позволяет произвести контрольный расчет волновых характеристик его воздушного объема, включая основные резонансные частоты, плотность спектра и критическую частоту. Если расчет покажет, что в норми-

руемом диапазоне частот (125–4000 Гц) резонансные частоты воздушного объема помещения не приводят к вырождению звукового поля по собственным модам и к искажениям тембра, то дальнейший расчет производят по законам статистической акустики;

- в соответствии с условием акустической отдачи помещения (формулы 1–3), производят расчет требуемого фонда звукопоглощения помещения и выбор конструкций ограждений;
- при необходимости размещения в ограждениях помещения звукопоглощающих материалов и конструкций их следует располагать только на стенах, оставляя потолки полностью звукоотражающими;
- в общем случае в ограждениях музыкальных помещений следует отдавать предпочтение деревянным панелям, специальным штукатурным покрытиям по дранке, тканям или драпировкам; специальные звукопоглощающие конструкции, в соответствии с расчетом, следует создавать в виде высоких (1,5–2,0 м) акустических экранов, размещаемых в углах помещений;
- для полезного увеличения количества дерева в отделке музыкальных помещений их полы также следует выполнять из деревянных конструкций.

Представленный перечень рекомендаций по архитектурным и строительно-акустическим мероприятиям, проведение которых является необходимым при разработке проектов малых музыкальных помещений, предоставляет, вместе с тем, достаточную свободу проектировщику при выборе конкретного проектного решения, при обязательном выполнении следующих условий:

- высота помещения не должна быть меньше указанных выше значений; в противном случае первые отражения от низких потолков будут подавлять все остальные, приводя к потере объемности и степени пространственного впечатления музыкальных звучаний — так называемого «звукового окружения»;
- при несоблюдении условия «скоса» продольных стен музыкальных помещений будет весьма сложно обеспечить требуемую диффузность звукового поля; появляется опасность возникновения флаттера (порхающего эха), а также тембральных искажений вследствие вырождения низкочастотных мод колебаний;
- при занижении объемов музыкальных помещений возникает опасность избыточной громкости исполнений, ограничивая тем самым процесс оптимизации динамического диапазона музыкальных звучаний;
- весьма критичным для акустики малого музыкального помещения может быть недостаточно продуманное применение специальных акустических об-

лицовок, звукопоглощающие свойства которых могут существенно повлиять и даже исказить частотную характеристику помещения, приводя при этом к потере реверберации (гулкости звучания) помещения.

Следует обратить внимание на то, что в предлагаемом перечне необходимых акустических мероприятий отсутствует «прямое» требование к времени реверберации малых музыкальных помещений — основному нормируемому параметру акустики зальных помещений /6/. Объясняют это тем, что в малых помещениях вообще, а в музыкальных в особенности, статистический параметр времени реверберации, вследствие выраженных волновых эффектов и весьма малых значений пробегов звуковых волн, становится недостаточно показательным в «прямом» значении этого критерия. Она может служить лишь косвенным аналогом общего фонда звукопоглощения помещения, необходимо для достижения в нем оптимальных значений гулкости, громкости и динамики исполняемых музыкальных программ (формулы 1–3). Однако, в натурных измерениях акустических характеристик малых помещений, регистрация времени реверберации, учитывая его стандартизированный характер, является необходимой, и, кроме того, с учетом статистической погрешности измерений, эти измерения дают полезную информацию о звукопоглощающих свойствах помещения, а, следовательно, о динамических возможностях управления звуком.

Анализ результатов натурных исследований акустики музыкальных классов и репетиционных помещений Московской консерватории /4,5/ полностью подтвердил изложенные выводы и рекомендации. В указанных работах были использованы результаты сравнительных исследований акустики, т. наз. «эталонных» классов. Расположенные в главном здании Московской консерватории классы, за многие годы своей эксплуатации признаны лучшими по условиям слухового восприятия музыкальных программ. Эталонные имеют следующие геометрические параметры:

- класс 28: размеры $7,7 \times 6,5 \times 4,0$ м; воздушный объем $\sim 200 \text{ м}^3$;
- класс 29: размеры $8,4 \times 6,3 \times 4,0$ м; воздушный объем $\sim 220 \text{ м}^3$;
- класс 45: размеры $8,1 \times 6,9 \times 4,0$ м; воздушный объем $\sim 207 \text{ м}^3$.

Формы всех «эталонных» классов имеют заметные отклонения от формы правильного параллелепипеда, т.е. боковые стены классов установлены по отношению к внешней стене (стене с оконными проемами) здания консерватории с некоторыми ско-

ми. Углы скосов составляют в классе 28 около 13°; в классе 29 – около 13°; в классе 45 – около 12°.

Поскольку все «эталонные» классы предназначены для занятий по классу фортепиано, их внутренняя отделка ограждающих конструкций является полностью звукоотражающей. Стены и потолки оштукатурены по дранке с последующей побелкой и покраской. Полы – паркетные.

Комплекс акустических измерений в «эталонных» классах Московской консерватории включал регистрацию и оценку следующих основных параметров, принятых для определения акустических свойств музыкальных помещений /4/: время реверберации, структура звуковых отражений и степень диффузности звукового поля.

Акустические измерения в классах были проведены по методике, принятой в современной архитектурной акустике залов /7/ – в помещении излучался короткий звуковой импульс (выстрел из стартового пистолета), отзвук (звуковая реакция) помещения на который регистрировался на компьютере «Note boor Toshiba». Используя специальную программу регистрации и анализа импульсных характеристик, получали полный набор необходимой информации об указанных выше критериях акустического качества классов.

Статистическая обработка результатов измерений времени реверберации в «эталонных» классах позволила получить для каждого из них частотную характеристику времени реверберации, усредненную по всему массиву результатов измерений с точностью до $\pm 0,05$ с, (таблица 1).

Анализ импульсных характеристик «эталонных» классов показал, что в классах 28, 29 и 45 структуры ранних отражений (так называемые «эхограммы») демонстрируют равномерный спад их уровней в ходе временной развертки процесса реверберации, независимо от взаимного размещения источника и приемника звука.

Субъективная оценка акустики «эталонных» классов и опрос преподавателей с многолетним ста-

жем работы показал, что в этих помещениях легко проходит учебный процесс, с прекрасным ощущением качества игры в желательном динамическом диапазоне и громкости исполнения, с полным ощущением звукового окружения, полноты, звучности и богатства тембров музыкальных произведений. Особенно полезной в этом плане, по мнению профессиональных исполнителей, является значительная высота классов, что позволяет исключить «подавление» музыкальных звучаний ранними отражениями от потолка и, наоборот, способствует созданию объемности, «погружения» в музыку. Этому также способствует значительная, для таких относительно небольших объемов, реверберация «эталонных» классов и ее подъем на низких частотах.

В отличие от «эталонных» классов комплекс малых репетиционных помещений, находящихся в здании общежития Московской консерватории /5/ имеют значительно меньшие объемы и, особенно, высоту помещений. Все помещения построены в форме прямоугольных параллелепипедов со средними размерами 5,5 × 3,0 × 2,5 м. После проведенного ремонта во всех репетиционных помещениях проведение учебного процесса было весьма затруднено из-за проблем акустики, заключавшихся в избыточной громкости, искажений тембров и потери объективности звуковой партитуры исполняемых музыкальных произведений. Главной причиной указанных проблем явилось решение строительной организации, производящей ремонт упростить и удешевить строительно-конструктивное решение ремонтируемых помещений. Так, довольно сложные конструктивные решения ограждений стен «старых» репетиционных помещений, выполненных из панелей ДСП на воздушном относе и акустических плит АГШБ, в «новых» помещениях были заменены простым штукатурным покрытием бетонных перегородок, с их последующей побелкой и покраской. Кроме того, большая часть потолков была отделана листами ГКЛ, а на полах вместо паркета был уложен ламинат. Все это вместе взятое при отсутствии мягкой мебели, тканевых штор

Номер класса	Время реверберации, с, на средних геометрических частотах октавных полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
28	1,2	1,1	0,95	0,85	0,8	0,8
29	1,1	1,1	1,0	0,9	0,8	0,7
45	1,2	1,15	1,0	0,95	0,85	0,75

Таблица 1

и т.п. элементов дизайна, привело к избыточной гулкости отремонтированных помещений, а «чистота» прямоугольных малых объемов — к заметному возрождению спектра низких частот, т.е. искажениям тембра, и потере диффузности звукового поля. Натурные измерения полностью подтвердили указанные существование указанных недостатков в акустики помещений, ремонт в которых был уже закончен. Для наглядности в таблице 2 представлены результаты натурных измерений частотной характеристики времени реверберации в «старых» (T_0) и «новых» после указанного выше ремонта репетиционных помещениях (T_1). Необходимо подчеркнуть, что даже в больших по объему «эталонных» классах время реверберации не превышает 1,1–1,2 с на низких частотах и 0,7–1,0 с на средних и на высоких (таблица 1).

Анализ всех вариантов решения проблемы улучшения акустики репетиционных помещений общежития и необходимые расчеты позволили разработать два комплекса мероприятий, зависящих от состояния ремонтных работ.

1. В уже отремонтированных классах предполагалось установить в углах щиты Бекеши в их классическом виде (рис.1), или, по крайней мере, для упрощения конструкции, с заменой выпуклых щитов на плоские листы фанеры или листы ГКЛ толщиной 10–12 мм. В качестве пористого заполнителя были рекомендованы минераловатные плиты марки 75, толщиной 80÷100 мм, в защитной оболочке. Общая высота экрана на подставке составила ~ 2,0 м, ширина ~ 1,2 м (рис.2). Кроме того, в этих помещениях была рекомендована установка не только «жестких», но и «мягких» экранов в виде натянутых на рамы размерами 1,0 × 1,7 м холстов из тяжелой ткани. При этом, в отличие от щитов Бекеши, тканевые экраны должны были устанавливаться на боковых стенах, «окружая» рояль. Щиты Бекеши, кроме увеличения звукопоглощения в области низких и средних частот, должны были способствовать также рассеянию собственных мод колебаний воздушного объема помещений, увеличивая тем самым степень диффузности поля. В свою очередь, тканевые экраны, кроме увеличения зву-

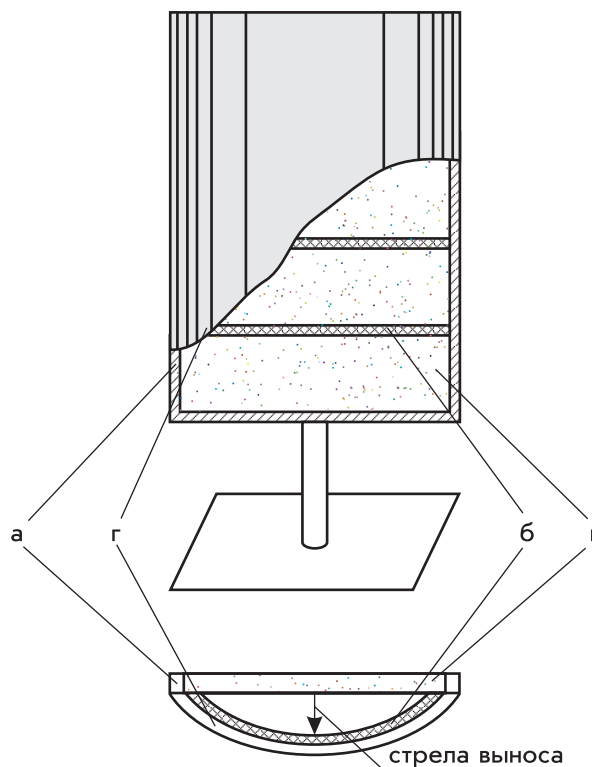


Рисунок 1. Конструкция щита Бекеши



Рисунок 2. Щит Бекеши в углу музыкального класса

Состояние зала	Время реверберации, с, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
«Старый» T_0	0,45	0,45	0,45	0,4	0,4	0,4
«Новый» T_1	3,0	2,5	1,05	1,1	1,05	0,9
Вариант T_2	0,6	0,55	0,5	0,5	0,5	0,5
Вариант T_3	0,5	0,5	0,5	0,5	0,55	0,55

Таблица 2

копоглощения в области высоких частот, должны были снижать опасность возникновения флаттера (порхающего эха) от параллельных боковых стен репетиционных помещений. Дополнительно к указанным мероприятиям было рекомендовано навесить шторы на двери и окна всех помещений.

2. Для помещений, еще подлежащих ремонту, было рекомендовано разместить на стенах звукопоглощающую конструкцию, по акустическому назначению близкую к ранее существовавшей конструкции (рис.3). По всей поверхности стен устанавливался деревянный каркас толщиной 100 мм, в который закладывались минераловатные плиты марки 75, толщиной 50–80 мм, в защитной оболочке. Все углы помещения «скашивались» листами фанеры или ГКЛ толщиной 10–12,5 мм с шириной скосов 1,2 м. Такие же вертикальные плоскости было рекомендовано установить на части боковых стен, примыкающих к скосам углов, а как центральную часть боковых стен закрыть плитами ППГЗ с процентом перфорации 12%–14 % (рис.3). Дополнительно было рекомендовано уложить пол из паркета и навесить шторы на окна и двери репетиционных помещений. Большинство из предложенных мероприятий было осуществлено в натуре; особенно полезным, как показали измерения, было

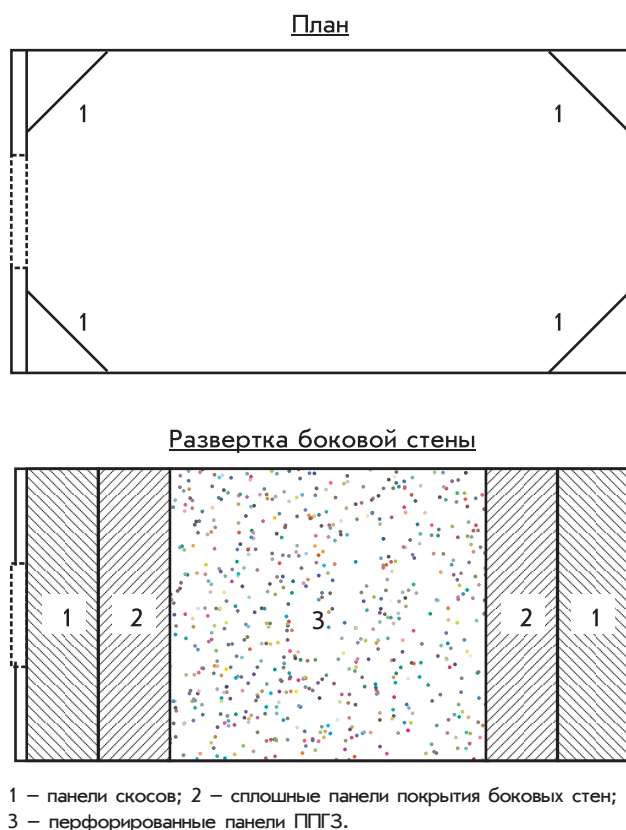


Рисунок 3. Конструкция ограждений музыкальных классов

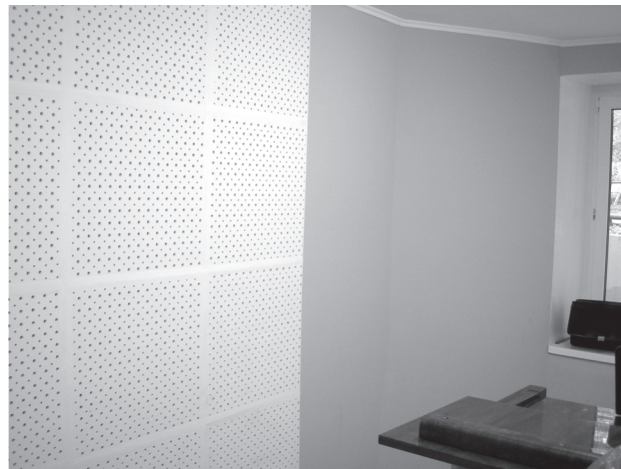


Рисунок 4. Звукопоглощающая облицовка на стене музыкального класса

точное исполнение акустических конструкций стен (рис. 4).

Акустическая приемка репетиционных помещений, ремонт и дополнительное оборудование которых было выполнено в соответствии с предложенными вариантами 1 и 2, показала, что акустические характеристики «новых» помещений существенно сблизились с акустическими характеристикам «старых» репетиционных помещений. Особенно показательными в этом плане оказались измерения времени реверберации, результаты которых представлены в таблице 2, где данные строки T_2 соответствует реконструкции репетиционных помещений по 1-му варианту, а строки T_3 – ремонту по 2-му варианту. Субъективная оценка условий слухового восприятия и качества проведения учебного и репетиционного процесса, проведенная профессиональными исполнителями в обоих типах помещений, показала вполне приемлемые, хотя и не идеальные, условия акустического комфорта.

Выводы

1. При полном исполнении всех объемно-планировочных и строительно-конструктивных рекомендаций, представленных в данной работе, оптимальное с позиции акустики архитектурное проектирование малых музыкальных помещений не требует привлечения специалистов-акустиков по выбору формы, геометрических размеров, пропорций и конструктивных решений ограждений помещения, проведения акустического расчета и, тем более, каких-либо специальных акустических мероприятий.

2. При выборе неудачных с позиций акустики геометрических размеров малого музыкального помещения и его ограждающих конструкций, требуется обязательное привлечение специалистов-аку-

стиков для разработки акустического решения проектируемого помещения, с целью создания в нем хотя бы удовлетворительных акустических условий. Особенно критичными в этом плане являются геометрически прямоугольные помещения, с объемами менее $60 \div 80 \text{ м}^3$, и низкими потолками (менее $3,7 \div 3,8 \text{ м}$). Общий алгоритм решения этих проблем также представлен в данной работе.

Литература

1. ВСН-01-77 «Инструкция по проектированию средних специальных учебных заведений искусства и культуры», М., 1977
2. Х.А.Щиржецкий, М.Ю. Ланэ, Е.В. Витвицкая. Резонансные явления в малых помещениях и их влияние на качество передачи музыкальных программ. «Труды НИИСФ», М.1087.
3. Е.В. Витвицкая. Влияние архитектурно-акустических параметров помещений музыкальных учебных заведений на качество звучания инструментальных и вокальных исполнений. Автореферат на соискание степени кандидата технических наук. М. НИИСФ. 1981.
4. НТО НИИСФ РААСН «Провести акустические измерения и разработать проектную документацию по корректировке проекта реконструкции классов №№9, 23, 37 и 38 Московской государственной консерватории им. П.И. Чайковского», Москва, 2005 г.
5. НТО НИИСФ РААСН «Провести акустические измерения в помещениях здания общежития Московской государственной консерватории им. П.И. Чайковского, расположенного по адресу: г. Москва, ул. Грузинская 22/24, стр. 1», г. Москва, 2007 г.
6. СНиП II-23-03 2003. Защита от шума. М., Стройиздат, 1978.
7. ISO 3382 «Acoustics — Measurement of the reverberation time of rooms with reference to other acoustical parameters».

Акустика малых музыкальных помещений

На основании теоретических и экспериментальных исследований разработан оригинальный метод акустического проектирования малых музыкальных помещений, в том числе музыкальных классов и малых репетиционных помещений. Метод базируется на определении параметра «акустическая поддержка» помещения, включающего расчет параметра «акустическая отдача» помещения, характеризующего оптимальный уровень громкости музыкальных звучаний и оценку волновых эффектов, определяющих качество передачи музыкальных сигналов. Приведены примеры, подтверждающие практическую применимость метода.

Acoustics of the small music rooms

by L.A. Borisov, Ch.A. Chirjetsky, E.V.Nasonova

On the base of the theoretical and experimental investigations was developed the optimal method on design of acoustics of the small music rooms: music classes, small rehearsal rooms, etc. Method was founded on the definition the parameter «acoustic support of room», included the calculation of parameters «loudness efficiency of room», which characterized the optimal reception of the musical sound level and the estimation of the acoustic wave effects, which characterized the quality of timbres of the natural musical sones, transmitted in room. There are some practical examples was confirmed this acoustic design method.

Ключевые слова: акустика помещений, музыкальные классы, собственные частоты, акустические параметры малых помещений, акустическая поддержка помещения.

Key words: acoustics, music classes, own frequency acoustic small premises, acoustic support facilities.