АКУСТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Том 38 1992 Вып. 6

УДК 534.84

© 1992 г. М.Ю. Ланэ, Х.А. Щиржецкий

АКУСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ КЛАССИЧЕСКИХ КОНЦЕРТНЫХ ЗАЛОВ РОССИИ

Представлены результаты акустического обследования трех наиболее известных филармонических залов России. Полученные данные об объективных критериях акустического качества и субъективной оценки качества звучания сопоставлены с известными данными об акустике зарубежных залов аналогичного назначения.

В последние годы рядом организаций была проведена паспортизация архитектурно-акустических параметров отечественных филармонических залов. Всего было обследовано около 90 залов городских и областных филармоний, включая 48 размещенных на территории Российской Федерации. Анализ этих данных приводит к тому печальному выводу, что в своем подавляющем большинстве эти залы лишь случайным образом становились филармоническими, так как первоначально почти все они создавались как клубные, театральные, кинозалы, дореволюционные залы дворянских и купеческих собраний и т.п. Все это показывает, что даже в чисто эксплуатационно-функциональном смысле большинство отечественных филармонических залов не предназначено для концертно-симофнических исполнений, что, естественно, свидетельствует и о полном невнимании к их акустическим характеристикам. Установлено, что как чисто концертно-симфонические залы с самого начала создавалось не более 10–15 помещений, причем из них в мире известны как залы с хорошей акустической репутацией только Большой зал Санкт-Петербургской филармонии (БЗСФ), Большой зал Московской консерватории (БЗМК) и Большой зал Санкт-Петербургской Капеллы (БЗСК). Общие сведения об этих залах приведены в табл. 1, а на рис. 1 показаны их продольные разрезы, для наглядности совмещенные по линии переднего края сцены.

Здесь необходимо отметить, что кроме указанных залов всемирной известностью

Таблица 1

Общие сведения об отечественных залах

Параметр	БЗМК	БЗСФ	БЗСК
Общая длина (до конца партера); ширина; средняя высота, м	50 (30); 22; 18	36; 21; 18,5	28,5 (23,5); 17; 13
Объем, м^3	17 000	14 000	6000
Число мест в партере	1000	1174	510
Число мест в амфитеатре (1), на хорах (2), на балконе (3)	700 (1)	158 (2)	290 (3)
Объем на 1-го зрителя, м^3	10,0	10,5	7,5

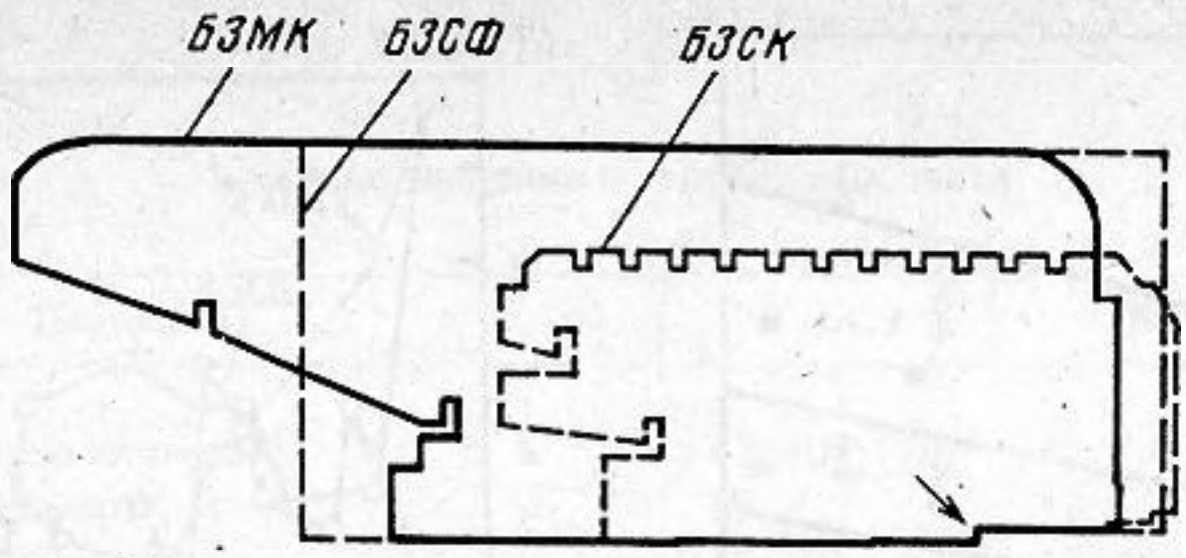

Рис. 1. Продольные разрезы отечественных залов. Стрелка показывает точку совмещения

как зал с хорошей акустикой пользуется также Колонный зал Дома Союзов, но опять-таки создавался М. Казаковым как парадный зал Московского Благородного собрания и чисто концертным стал только в послереволюционное время. Ранее авторы статьи уже исследовали акустику Колонного зала и с ее описанием можно познакомиться в работе [1].

Задача же настоящей публикации – натурная проверка точности соответствия хорошей субъективной оценки акустики представленных в табл. 1 залов количественным значениям объективных критериев, применяемых в современной архитектурной акустике.

Все измерения проводились в пустых залах. Коррекция времени реверберации на заполнение публикой вводилась расчетным путем, за исключением БЗМК, где дополнительно проводились измерения при наличии слушателей. В программу входило определение следующих показателей (методика измерений изложена в указанной литературе): времени реверберации T [2]; структуры отражений при возбуждении звукового поля выстрелами из стартового пистолета [3]; энергетических критериев – индекса прозрачности $C(80)$ и пространственного впечатления LE [4]; частотных характеристик передачи (ЧХП) по $^1/_3$-октавным полосам [3].

Кроме того, во всех залах по 10-балльной шкале методом анкетного опроса была проведена субъективная оценка условий слышимости. Она показала, что на фоне общей весьма высокой акустической оценки (8–10 баллов) в залах имеются зоны относительно лучших и худших мест. К первым относятся: в БЗМК – боковые галереи и передние ряда амфитеатра; в БЗСФ – средние и задние (кроме самых последних) ряды партера; в БЗСК – середина партера и балкон. К относительно худшим местам во всех залах относятся передние и последние ряды партера.

Результаты измерений T на средних частотах показаны на рис. 2. Там же отмечены принятые по современным рекомендациям [3] оптимальные значения T для органной (*1*), симфонической (*2*) и камерной (*3*) музыки. Как видно, при заполнении публикой во всех залах T близко к оптимуму для симфонических и камерных программ. Однако оптимум реверберации является хотя и необходимым, но недостаточным условием хорошего звучания.

Визуальный анализ импульсных осциллограмм оказался полезным, но недостаточно информативным. Не было установлено существенных дефектов во всех зонах залов и в то же время не была зафиксирована и идеальная структура звуковых отражений. В частности, в передних рядах залов наблюдалось явное превалирование прямого звука. В этом плане важным представляется измерение $C(80)$ и LE, по оптимизации которых уже имеется ряд рекомендаций.

На рис. 3 показаны как функции расстояния r от источника звука до рассматриваемой точки в зале значения $C(80) = 10\lg\{W(80)/[W(*) - W(80)]\}$, где в круглых скобках показано время в мс, в течение которого вычисляется энергия импульсного отклика зала W (при этом (0) соответствует моменту прихода прямого звука, а (*) – окончанию импульсного отклика). По последним данным представлениям института ВУЗОРТ (Прага) рекомендуется оптимум $C(80)$ в пределах: $-1 \div +3$ дБ. В эту зону

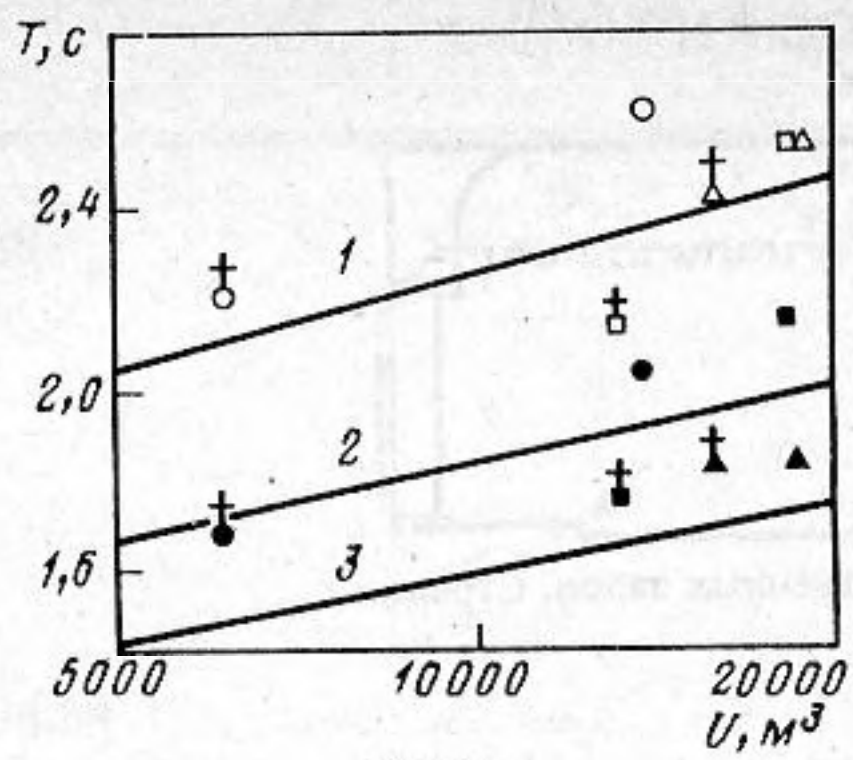

Рис. 2

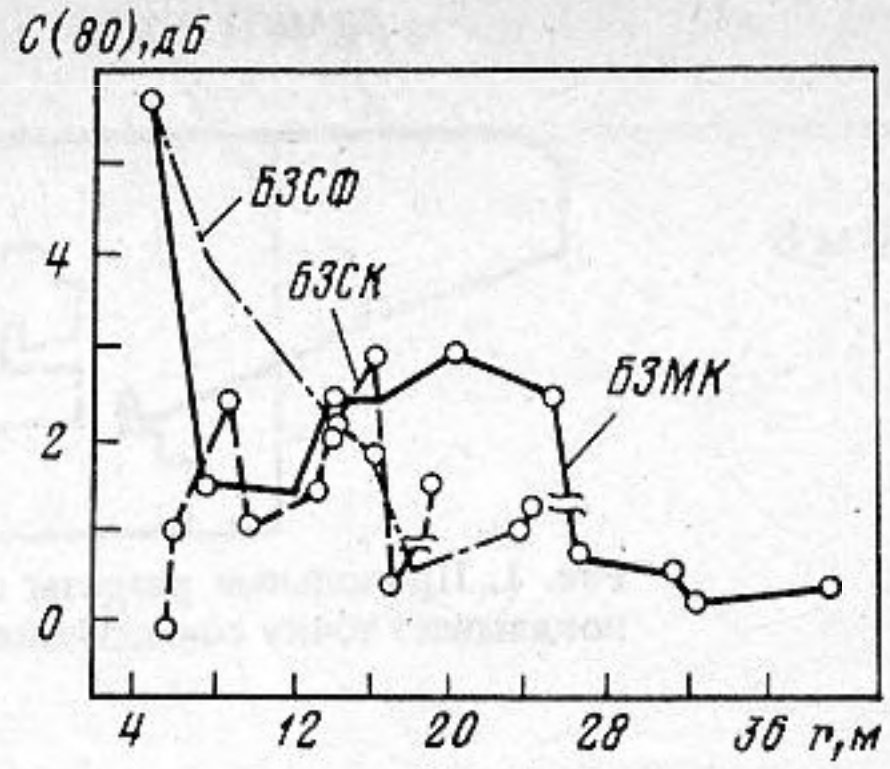

Рис. 3

Рис. 2. Значения времени реверберации залов при отсутствии и наличии публики обозначают соответственно открытые и затемненные символы. Треугольный круглый и квадратный символы – соответственно БСЗ, БЗМО и КГ. Те же символы с крестом сверху – соответственно БЗМК, БЗСК и БЗСФ. Кривые *1*, *2*, *3* – оптимум реверберации для соответственно органной, симфонической и камерной музыки

Рис. 3. Значения $C(80)$ в отечественных залах в зависимости от расстояния. Прерывание кривых двумя штрихами отмечает переход от партера к балкону

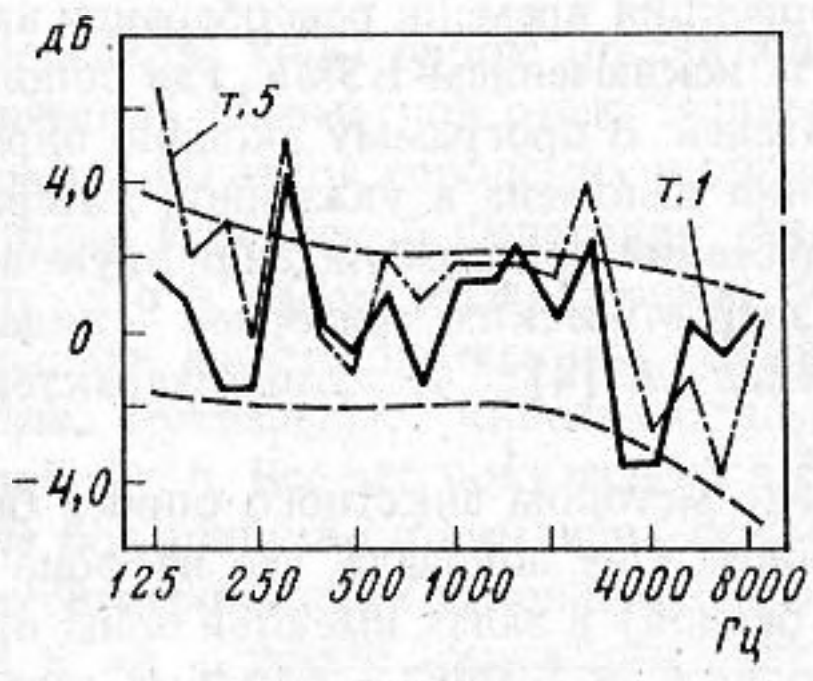

Рис. 4

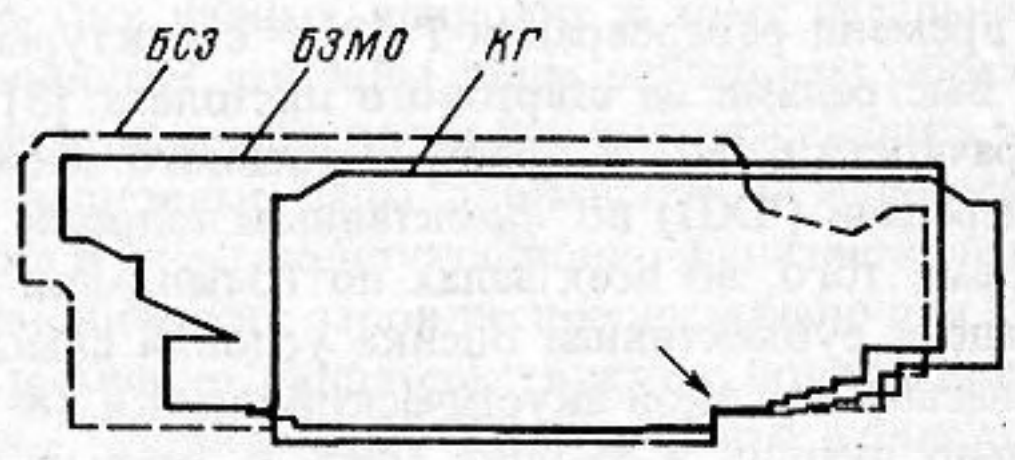

Рис 5

Рис. 4. ЧХП в двух точках БЗСФ. Штриховые линии отмечают границы рекомендованной зоны допусков

Рис. 5. Продольные резрезы зарубежных залов. Стрелка показывает точку совмещения

хорошо укладывается наглядное уменьшение прозрачности при удалении приемника звука от сцены в передней зоне партера, однако из-за значительной ширины трубки допусков другие локальные изменения $C(80)$ практически не прослеживаются. Поэтому, по нашему мнению, представляется полезным, во-первых, сузить трубку оптимума $C(80)$ до $-0{,}5 \div +2{,}0$ дБ, а во-вторых, вернуться к предлагавшемуся ранее дифференцированному подходу к оптимуму $C(80)$ для передних и более дальних рядов залов [3].

Для оценки пространственного впечатления использовался критерий Иордана [5] $LE = 10\lg\{[W'(80) - W'(25)]/W(80)\}$, где верхний индекс (штрих) означает использование микрофона с косинусоидальной диаграммой направленности, основная ось которой была направлена на боковые стены залов. Во всех залах были отмечены низкие значения LE ($-8 \div -18$ дБ), что существенно меньше зоны оптимума Йордана ($-5 \div -7$ дБ). В то же время в обследованных залах субъективная оценка пространственности в целом была хорошей. Отсюда следует, что методика измерения и оптимизации LE нуждается в доработке и усовершенствовании.

Таблица 2

Общие сведения о зарубежных залах

Параметр	БСЗ	БЗМО	КГ
Общая длина (до конца партера); ширина; средняя высота, м	43 (40); 29; 19	40 (33); 21 18	27; 28; 17
объем, м³	18 740	15 000	18 700
Общее число мест (число мест в партере)	2631 (1484)	1680 (1032)	2206 (1366)
Объем на 1-го зрителя, м³	7,1	8,9	8,5

Таблица 3

Значения *C* (80), дБ для зарубежных залов

Зал	Среднегеометрические частоты октавных полос, Гц					
	125	250	500	1000	2000	4000
БСЗ	−3,9	−3,3	−3,0	−2,8	−3,8	−2,0
БЗМО	−5,5	−5,0	−4,8	−3,5	−3,4	−2,2
КГ	−5,0	−4,8	−4,6	−3,3	−3,2	−2,1

Измерения ЧХП привели к неоднозначным результатам. Если в БЗМК зафиксированные в отдельных локальных зонах зала ЧХП логически согласовывались с результатами субъективной оценки, то в БЗСФ и БЗСК такой связи не наблюдалось. На рис. 4 показаны ЧХП, измеренные в начале партера БЗСФ (точка *1*) и в его центральной части (точка *5*). Как видно, в целом эти ЧХП близки друг к другу и частично выходят за рекомендованную зону допусков. В то же время оценка тембра в БЗСФ весьма хорошая с явным предпочтением средних рядов партера. Таким образом, нуждаются в доработке как абсолютные значения зоны допусков оптимума ЧХП, так и сама форма этой зоны в зависимости от частоты.

В плане обсуждения результатов настоящей работы представляет интерес сравнение результатов данного натурного обследования с результатами изучений аналогичных зарубежных залов с мировой акустической репутацией. В последние годы подобные исследования были проведены группой японских ученых [6] и канадским акустиком Брэдли [7]. К сожалению, физические определения акустических критериев залов еще не полностью унифицированы учеными разных стран, за исключением, естественно, времени реверберации *T*. Из остальных акустических критериев, представленных в [6, 7], по своему физическому определению совпадают с нашими объективными параметрами только энергетические критерии, и в частности индекс прозрачности *C*(80). Отсюда ясно, что сравнение результатов будет наглядным только по этим характеристикам.

Рассмотрение архитектурно-акустических параметров исследованных в [6, 7] концертных залов показало, что наиболее близкими по всем показателям к классическим концертным залам России являются всемирно известные Бостонский симфонический зал (БСЗ), Большой зал Музыкального общества (ЮЗМО) в Вене и зал "Концертгебау" (КГ) в Амстердаме. В табл. 2 приведены основные сведения об этих залах, а на рис. 5 показаны их продольные разрезы, совмещенные (как и на рис. 1) по переднему краю сцены.

Данные о времени реверберации этих залов (без публики) можно найти в целом ряде работ, включая известную книгу Беранека [8]. В работе [7] коррекция на заполнение публикой вводилась расчетным путем. Однако представляется более точным ориентироваться на результаты натурных измерений в заполненных залах. Эти данные, заим-

ствованные из [6], показаны на рис. 2. Если обратиться к показанным на том же рисунке оптимумам реверберации для разных музыкальных жанров, то можно сделать вывод, что значения T близки к кривой оптимума для симфонической музыки. Последнее подтверждает правильность разработанных акустиками разных стран зависимостей оптимума реверберации от объема залов.

В табл. 3 показаны заимствованные из [7] средние по зарубежным залам значения $C(80)$. Поскольку при этом производилась фильтрация импульсных откликов в октавных полосах, то и значения индекса ясности показаны для отдельных октав. Сравнения данных табл. 3 с приведенной выше трубкой оптимума $C(80)$ свидетельствуют о заниженных значениях индекса прозрачности, измеренных в зарубежных залах. Последнее не соответствует хорошей субъективной оценке акустики этих залов, и в частности прозрачности звучания, и подтверждает полученный нами ранее по залам России вывод о необходимости дальнейшего уточнения и корректировки зоны оптимумов $C(80)$. Также недостаточно оправданным, по нашему мнению, является спектральное разложение $C(80)$ (см. табл. 3), как, впрочем, и других интегральных критериев, которое в общем хорошо коррелируется с оценками тембра, имеющего свои объективные критерии. К таким же результатам привело нас и сравнение с результатами измерений других, не представленных здесь акустических критериев (в частности, критериев оценки тембра и пространственного впечатления).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Макриненко Л.И., Ширжецкий Х.А.* Акустика Колонного зала Дома Союзов // Тр. НКФИ. М.: 1982. Вып. 111. С. 94–105.
2. ГОСТ 24146-82. Зрительные залы. Метод измерения времени реверберации.
3. *Макриненко Л.И.* Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986. С. 173.
4. *Ланэ М.Ю., Нестеренко Н.С.* Энергетические критерии акустического качества музыкальных радиовещательных студий // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 4. С. 758–760.
5. *Йордан В.Л.* Акустическое проектирование концертных залов. М.: Стройиздат, 1986. С. 160.
6. *Tachibana H. et al.* Acoustic survey of auditoriums in Europe and Japan // J. Acoust. Soc. Jap. 1989. V. 10. № 2. P. 73–85.
7. *Bradley J.S.* A comparision of three classical concert hills // J. Acoust. Soc. Amer. 1991. V. 89. № 3. P. 1176–1192.
8. *Beranek L.L.* Music, Acoustics and Architecture. N.Y.: John Wiley and Sons, Inc., 1962.

Всесоюзный научно-исследовательский институт телевидения и радиовещания

Научно-исследовательский институт строительной физики

Поступила в редакцию 24.01.92

M.Y. Lannie, Ch.A. Shirjetsky

ACOUSTIC CHARACTERISTICS OF RUSSIAN CLASSIC CONCERT HALLS

The acoustic characteristics of three Russian concert halls have been investigated: the Large Hall of the Moscow Conservatory and the Large Halls of the Philharmonia and the Capella in St. Petersburg. These halls have the volumes equal to 17 000, 1400 and 6000 cubic meters respectively. These halls are known to be the best ones in Russia due to their acoustcs. The next parameters have been measured in the halls: the reverberation time, the structure of early sound reflections, the clarity index, the spacial impression (as proposed by Jordan) and the frequency response (using 1/3 octave noise bands as a test signal). The subjective quality of sound have been estimated also. The experts have filled in the special test-lists where 10-point scales have been used. The obtained data are compared with the published data on the acoustics of 3 similar foreign halls and with different proposals for the optimal values of the objective acoustic criteria. The estimations have shown that the proposed optimal values for all investigated acoustic criteria (except the reverberation time) have to be corrected.