

УДК 534.84

© 1992 г. М.Ю. Ланэ

## АКУСТИКА ТЕАТРА ОСТАНКИНСКОГО ДВОРЦА-МУЗЕЯ

Выполнено исследование акустических характеристик уникального памятника русской архитектуры XVIII в. театрального зала Останкинского дворца. Получены данные о времени реверберации, структуре звуковых отражений и энергетических критериев акустического качества. Предложены рекомендации по проведению в зале музыкальных концертов.

В архитектуре русского театра отдельной группой представлены небольшие по вместимости залы, размещенные в старинных деревянных зданиях. Среди немногих сохранившихся до настоящего времени подобных объектов следует в первую очередь выделить три памятника: театр на Каменном острове в Санкт-Петербурге и усадебные театры в Архангельском и Останкино (Москва). Акустика первого из них была предметом специального исследования [1]. Данная работа посвящена акустике Останкинского театра, которая, насколько известно, ранее не изучалась.

Театр в Останкинском дворце был построен по проекту И. Старова в 1793–95 гг. В истории русского театра ему принадлежит исключительно важная роль. Зал без сомнения может быть отнесен к уникальным театральным интерьерам. Истории строительства театра посвящена обширная литература, из которой в первую очередь следует упомянуть содержательные статьи [2, 3], где также представлена обширная библиография. В зале первоначально были предусмотрены разнообразные трансформации интерьера, связанные как со сценической частью, так и с изменением отметки пола партера. Сейчас полы сцены и партера находятся в одном уровне. Поскольку портал как таковой выражен достаточно слабо, то зал и сцену можно рассматривать как единый объем.

План театра показан на рис. 1. Сцена имеет глубину 22 м при высоте 8,2 м. По широте портала на ней установлено восемь в настоящее время неподвижных парных колон. Сам зал в плане напоминает скошенный овал. Его длина составляет 16 м при полной высоте 10,15 м. Пол партера плоский. У задней стены ряд ступеней ведут в смежное помещение и на опоясывающую партер по его периметру галерею, являющуюся своеобразным бельэтажем. Между близко поставленными колоннами здесь находятся 14 маленьких "ложе" на одно кресло каждая. В партере кресла отсутствуют. Переход потолка к стенам выполнен через систему сводов, в которые встроены проемы хоров. В основном ограждающие поверхности и элементы интерьера выполнены из дерева.

Акустические измерения проводились в пустом зале для трех положений источника ( $Q-1, 2, 3$ ). В качестве испытательного сигнала использовались выстрелы из стартового пистолета. Точка  $Q-2$  была выбрана на продольной оси помещения в 1,5 м в глубину сцены относительно линии подвески антрактного занавеса;  $Q-3$  была смещена от нее на 5,6 м в глубину сцены, а  $Q-1$  выдвинута в зал на 3,8 м относительно



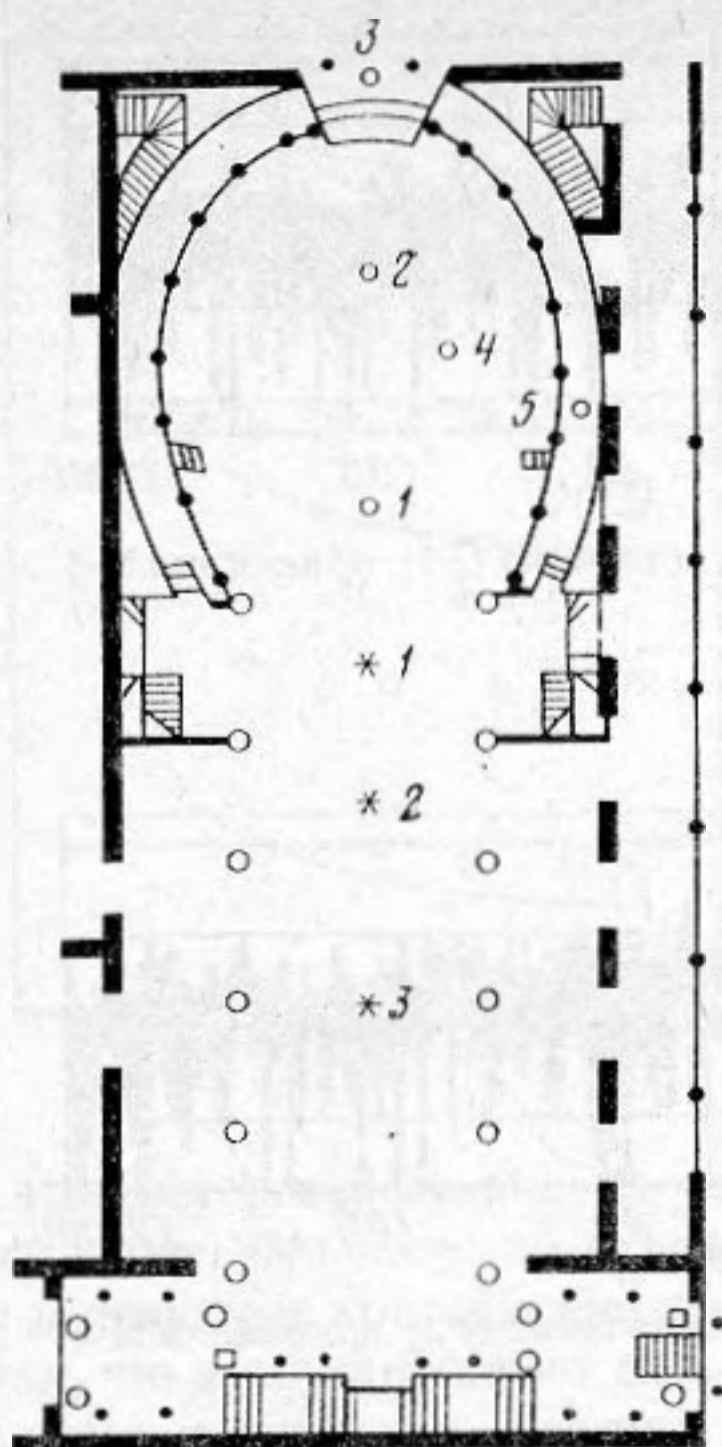


Рис. 1

Рис. 1. План зала. Точки размещения источника (\*) и приемника (о) звука

Рис. 2. Время реверберации пустого зала

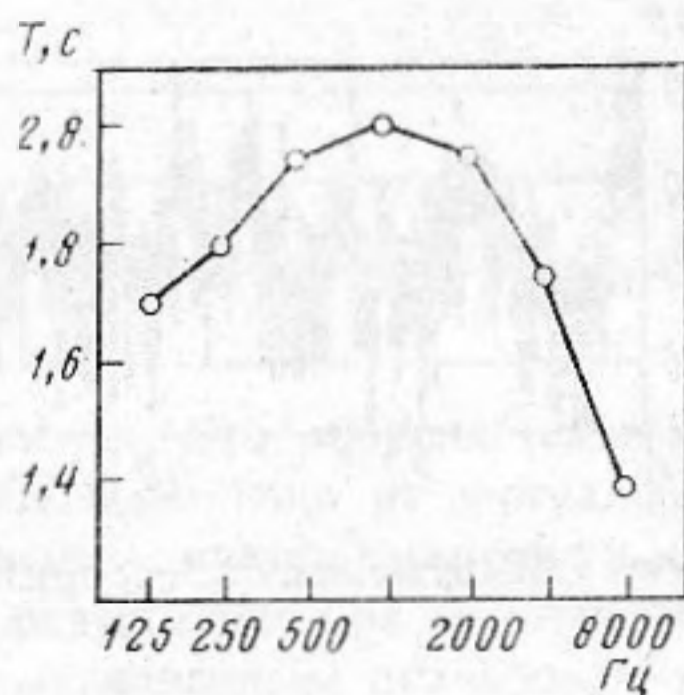


Рис. 2

Q-2 и находилась на месте бывшей авансцены (см. рис. 1). Ненаправленный микрофон устанавливался на высоте 1,2 м от уровня пола и поочередно размещался в партере (точки 1, 2, 4), в центральном проходе у задней стены на месте бывшей графской ложи (точка 3) и в одном из боковых "лож" бельэтажа (точка 5). Для каждого из  $3 \times 5 = 15$  положений источник-приемник на магнитофон Pro-5 фирмы Sony записывалось не менее трех импульсных откликов зала.

При обработке полученных записей прежде всего определялось время реверберации  $T$ . Использовалась стандартная процедура [4] с регистрацией реверберационных кривых на ленте самописца типа 2307 при предварительной фильтрации в октавных полосах с помощью спектрометра типа 2113. Структура ранних звуковых отражений изучалась с помощью анализатора типа 2034 и фиксировалась на плоттере типа 2319. Для подсчета значений энергии на различных участках импульсного отклика использовался тот же прибор типа 2034 (вся аппаратура — фирмы Bruel & Kjer).

Измеренные значения  $T$  показаны на рис. 2. Следует отметить, что при определении этого критерия использовалось два дополнительных положения микрофона на сцене зала. Анализ полученных данных не зафиксировал статистически достоверных отличий  $T$  в разных зонах зала или сцены. Это подтверждает вывод о том, что в современном состоянии зал и сцена могут рассматриваться как единый объем. Приведенная на рис. 2 частотная зависимость  $T$  получена в результате усреднения по всем положениям источника и приемника звука в помещении.

Ниже представлены значения трех энергетических критериев акустического качества индекса прозрачности  $C(80) = 10 \lg \{W(80) / [W(*) - W(80)]\}$ ; индекса четкости  $D(50) = 10 \lg [W(50) / W(*)]$ ; индекса гулкосты  $G(50) = 10 \lg \{[W(*) - W(50)] / W(50)\}$ , где функция  $W$  представляет собой текущий интеграл квадрата импульсного отклика зала, а цифры в круглых скобках при  $W$  отмечают время в мс, за которое вычисляется интеграл, считая от момента прихода прямого звука (знак \* обозначает момент завер-



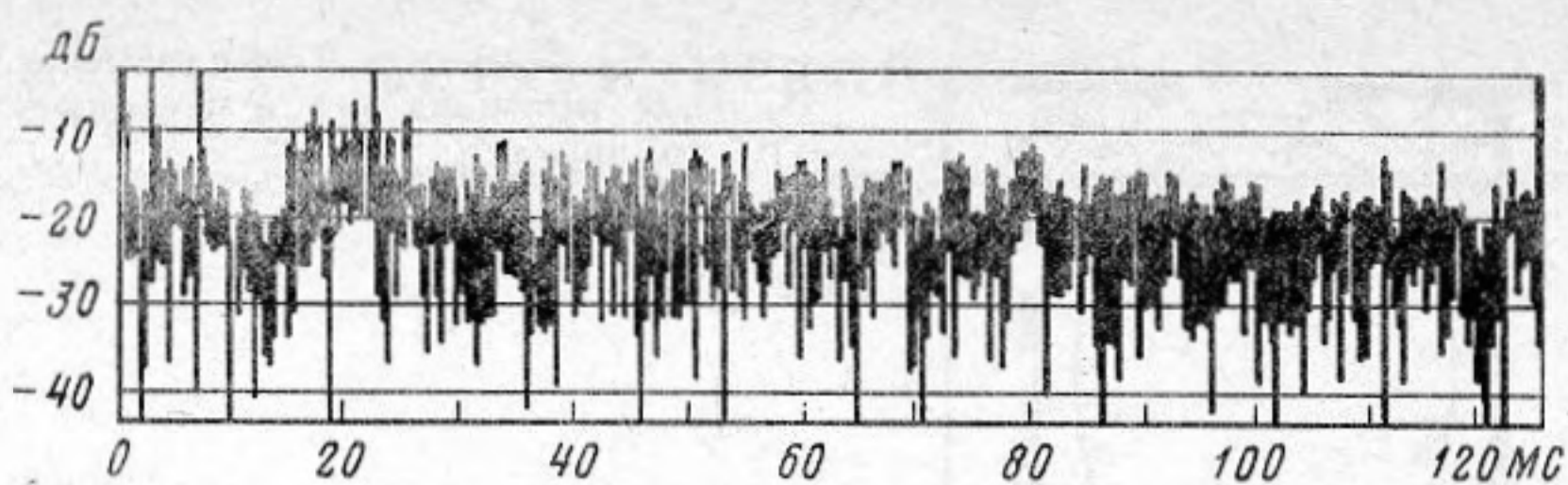


Рис. 3. Импульсный отклик при положении источника Q-1; приемника М-5

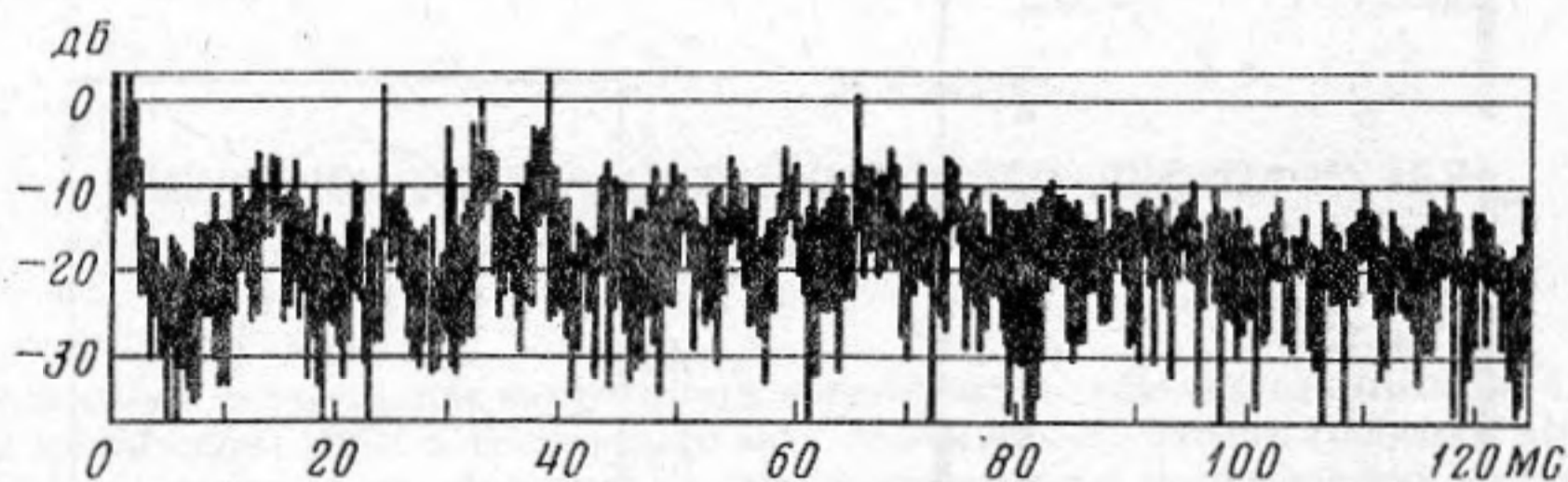


Рис. 4. Импульсный отклик при положении источника Q-2; приемника М-4

шения импульсного отклика):

Положение источника	Положение приемника	C (80)	D (50)	G (50)
Q-1	1	2,80	-2,70	-0,62
	2	3,50	-2,10	-2,10
	3	3,30	-2,45	-1,20
	4	2,14	-2,87	-0,26
	5	0,50	-3,71	1,31
Среднее по серии		2,44	-2,76	-0,58
Q-2	1	0,62	-3,10	0,18
	2	3,80	-2,61	-0,79
	3	3,57	-2,50	-1,20
	4	2,54	-3,47	0,88
	5	1,08	-3,74	1,35
Среднее по серии				
Q-3	1	0,54	-4,10	1,90
	2	0,66	-4,12	2,02
	3	2,03	-2,81	-0,45
	4	0,04	-5,70	4,32
	5	-1,57	-4,50	2,61
Среднее по серии		0,34	-4,24	2,08
Среднее по залу		1,70	-3,36	0,53

Найденные значения критериев сгруппированы по трем сериям при размещении источника соответственно в Q-1, 2, 3. Для каждой серии указаны средние значения. В последней строке приведены средние по всему залу значения. Два характерных примера импульсных откликов показаны на рис. 3 и 4.

Анализ результатов свидетельствует в целом о не слишком хороших акустических условиях в зале. Время реверберации на средних частотах составляет 1,9–2,0 с. Обращает на себя внимание отсутствие типичного для театрально-филармонических залов



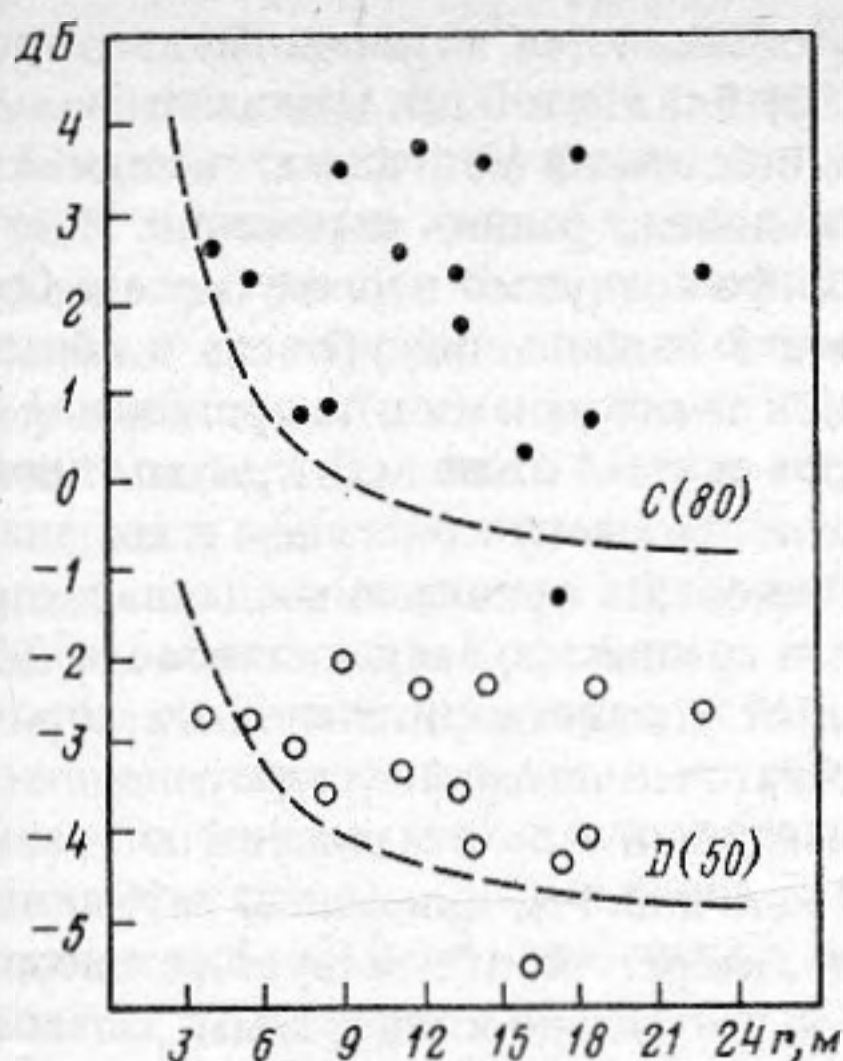


Рис. 5. Измеренные значения  $C(80)$  и  $D(50)$ , отмеченные соответственно точками и крестами, в зависимости от  $r$ . Штриховые линии показывают теоретические зависимости

подъема времени реверберации на низких частотах. Это объясняется тем, что, как отмечалось выше, большинство ограждений зала выполнено из дерева. Укрепленные на отnose деревянные конструкции имеют максимум звукопоглощения в низкочастотной области, что и обуславливает спад времени реверберации на частотах ниже 500 Гц. Для сравнения измеренных значений  $T$  с рекомендованным оптимумом надо учесть поглощение звука публикой. В настоящее время при размещении публики в бельэтаже и на устанавливаемых временно в партере стульях вместимость зала составит около 200 человек. С учетом объема зала  $2000 \text{ м}^3$  и сцены  $2500 \text{ м}^3$  расчет по формулам статистической теории [5] показывает, что при наличии 200 человек в зале следует ожидать на средних частотах  $T = 1,55 - 1,60 \text{ с}$ . Между тем для подобных залов объемом  $4500 \text{ м}^3$  рекомендуется оптимум реверберации в  $1,4 \text{ с}$  [5]. Таким образом, зал имеет явно завышенное время реверберации. Этот вывод достаточно закономерен, так как на одного зрителя приходится удельный объем  $22 \text{ м}^3$ , что значительно превышает рекомендованное для музыкальных театров максимальное значение в  $8 - 10 \text{ м}^3$ .

Остановимся теперь на рассмотрении энергетических критериев. Из положений статистической теории вытекает, что они определяются временем реверберации и расстоянием  $r$  от источника до приемника звука. При этом с ростом  $r$  значения  $C(80)$  и  $D(50)$  уменьшаются, а  $G(5\%)$  увеличиваются. Если исходить из усредненных по отдельным сериям величинам, то эта закономерность подтверждается. Действительно, при постепенном смещении источника в глубину сцены (из  $Q-1$  в  $Q-2$ , а затем в  $Q-3$ ) средние по залу значения  $C(80)$  уменьшаются (2,44; 2,32; 0,34 дБ). Аналогично наблюдается спад  $D(50)$  (-2,76; -3,1; -4,24 дБ) и увеличение  $G(50)$  (-0,58; 0,08; 2,08 дБ). Однако для конкретных положений источник-приемник достоверного совпадения экспериментальных данных с расчетами по статистической теории не наблюдается. На рис. 5 показаны в зависимости от  $r$  значения  $C(80)$  и  $D(50)$  для всех трех положений источника и пяти — измерительного микрофона. Там же нанесены теоретические зависимости этих критериев от  $r$  [6], построенные для  $T = 1,9 \text{ с}$ . Виден достаточно большой разброс измеренных величин относительно указанных зависимостей. Это подтверждает вывод о том, что расчеты по статистической теории могут использоваться лишь для ориентировочного прогнозирования значений энергетических критериев помещений [7].

Для музыкальных залов рекомендуется оптимум  $C(80)$  в пределах  $-1 - +3 \text{ дБ}$  [5]. Обычно близкие к 0 дБ значения  $C(80)$  свидетельствуют о вполне приемлемой прозрачности звучания музыки. С этой позиции наилучшими являются условия при размещении источника в глубине сцены. Отметим, что при всех положениях источника относительно наименьшие величины  $C(80)$  зафиксированы в бельэтаже (точка 5). При этом для  $Q-3$



получено минимальное  $C(80) = -1,57$  дБ, что объясняется экранированием прямого звука краем портала. Для  $Q-1,2$  в этой точке  $C(80)$  близок к 0 дБ. Относительно максимальные  $C(80)$  наблюдаются (также для всех положений источника) в задней части зала (точки 2, 3). Это связано с наличием интенсивных ранних отражений. В точке 2 наиболее заметно выражены отражения от высокого вогнутого в плане барьера бельэтажа с запаздыванием порядка 20 мс, а для точки 3 наибольший уровень в области до 40 мс имеют отражения от потолка, боковых стен за колоннами и от продольной стены смежного помещения Картинной галереи, которое связано с залом открытым проемом.

Индекс четкости  $D(50)$  является, как известно, речевым критерием и его значения в целом малоинформативны для музыкальных залов. Из приведенных данных следует, что  $D(50)$  лежит в пределах от  $-2,1$  до  $-5,7$  дБ и в среднем по залу составляет  $-3,36$  дБ. Такие значения соответствуют понятности речи от удовлетворительной до хорошей с превалированием последней [5]. Подобная достаточно высокая разборчивость в помещении с  $T = 2$  с объясняется небольшими размерами зала и малыми (по сравнению с крупными речевыми залами) расстояниями от источника до приемника звука.

Что касается индекса гулкосты  $G(50)$ , то в литературе отсутствует согласованная точка зрения на его оптимум применительно к театрально-концертным залам и для анализа полученных результатов требуются дополнительные исследования.

Известно, что для высококачественного звучания процесс затухания импульсного отклика должен носить плавный монотонный характер. Однако подобная картина наблюдается только в бельэтаже. Как видно из рис. 3 (источник в  $Q-1$ , микрофон в точке 5), в этом случае за прямым звуком приходят интенсивные отражения с запаздыванием 3 и 7 мс, а затем в области 18–24 мс группа полезных и также интенсивных отражений. После этого процесс затухания приобретает монотонный характер.

Иная ситуация наблюдается в партере, где после прямого звука отчетливо проявляются как отдельные отражения, так и их группы с большим запаздыванием, искажающие монотонный характер реверберационного процесса. Например, на рис. 4 (источник в  $Q-2$ , микрофон в точке 4) видны соизмеримые по уровню с прямым звуком отражения с запаздыванием 24, 33, 39 и 67 мс, которые резко выделяются на общей структуре импульсного отклика. Их наличие обусловлено вогнутой в плане формой зала и в первую очередь высоким барьером бельэтажа. Следует отметить, что в ряде зон зала (например, источник в  $Q-1$ , микрофон в точке 1) отчетливо прослушивается порхающее эхо, что является серьезным акустическим дефектом.

В силу ряда причин, связанных с проводящейся реконструкцией дворца-музея, в зале не удалось провести экспертизы по прослушиванию музыкальных программ. Однако отзывы слушателей, присутствовавших на проводившихся эпизодически несколько лет назад концертах, свидетельствуют о не слишком высоком качестве звучания в зале, и в частности о трудностях при вокальных выступлениях.

Согласующиеся с этими отзывами результаты измерений позволяют не только составить представление об акустике зала, но и сформулировать некоторые рекомендации по проведению концертов. Разумеется, они не должны затронуть интерьер зала, являющегося памятником архитектуры. Суть их сводится к следующему:

1) следует отдать предпочтение размещению исполнителей на сцене не ближе 2–3 м относительно линии подвески антрактного занавеса. При этом ухудшаются условия видимости в ближних к сцене "ложах" бельэтажа. Однако заметное улучшение качества звучания представляется более существенным, чем уменьшение вместимости зала на несколько мест;

2) нужно принять меры к максимальному заглушению сценического объема. С этой целью предлагается подвесить массивные занавеси из плотной ткани вдоль расположенных на сцене парных колон;

3) при установке стульев в партере их задний ряд, расположенный вдоль барьера бельэтажа, следует разместить на временно вносимых в зал подмостях высотой около 0,8 м. Подобное решение помимо улучшений условий видимости приведет к тому, что слушатели этого ряда будут "экранировать" барьер бельэтажа. Последнее вызовет заметное ослабление нежелательной концентрации звука от этого барьера;



4) открытый проем в помещение Картинной галереи на время концертов следует закрывать занавесом из плотной ткани.

Изложенные выше результаты относятся к современному состоянию зала. В таком виде он сначала использовался для проведения балов. После ремонта 1878 г. помещение не может быть трансформировано в первоначально спроектированный театральный зал. Однако анализ старых чертежей позволяет сделать предположение, что акустика помещения в режиме "театр" была лучше, чем при существующем сейчас режиме "воксал". Для этого вывода есть два основания.

Во-первых, при снижении отметки первых рядов и устройстве в партере амфитеатра отсутствовала возможность образования порхающего эха между плафоном потолка и плоским полом зала. Кроме того, за счет подъема задних рядов не могла проявиться упомянутая концентрация звука от барьера бельэтажа.

Во-вторых, при размещении на сцене декораций поглощение сценического проема было много больше, что обуславливало меньшее, чем в настоящее время, время реверберации. Отметим, что удельный объем на одного зрителя в собственно зале (без сцены) составляет около  $10 \text{ м}^3$ , что согласуется с современными требованиями для оперных театров.

Автор выражает глубокую признательность дирекции и сотрудникам Останкинского дворца-музея за содействие в организации измерений и предоставление чертежей театра.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ланэ М.Ю., Нестеренко Н.С. Акустические характеристики телетеатра на Каменном острове в Ленинграде // Тез. докл. XXI Всесоюз. науч.-техн. конф. "Перспективы развития аппаратуры радиовещательного приема, звукоусиления и акустики". Л.: 1985. С. 206–207.
2. Прокопенко Л.И., Аксенов В.Ю. История проектирования и строительства Останкинского театра-дворца // Новые материалы по истории русской культуры. М.: 1987. С. 13–61.
3. Лепская Л.А. Останкинский театр. Предыстория. Замысел. Воплощение. М.: С. 62–78.
4. ГОСТ 24146-82. Зрительные залы. Метод измерения времени реверберации.
5. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986. С. 173.
6. Анерт В., Рейхардт В. Основы техники звукоусиления. М.: Радио и связь, 1984. С. 320.
7. Ланэ М.Ю., Нестеренко Н.С. Энергетические критерии акустического качества музыкальных радиовещательных студий // Акуст. журн. 1989. Т. 35. № 4. С. 758–760.

Всесоюзный научно-исследовательский институт телевидения и радиовещания

Поступила в редакцию  
28.12.91

M.Y. Lannie

#### ACOUSTICS OF THEATER HALL IN OSTANKINO PALACE

The hall of the Ostankino Palace in Moscow have been the first theater hall with variable interior in Russia. It was constructed already in XVII-th century. Two modes of the hall employment were possible at that time: the "theater hall" mode with little stalls organized as an amphitheater and the "dancing hall" mode when the stage and the stalls were one room with common floor. There is no opportunity for the hall transformation from the end of the XIX-th century and at present time it looks like a "dancing hall". Reverberation time, the structure of sound reflection and energy criteria have been measured under these conditions. Obtained results have shown that the hall acoustics is not quite good. Several recommendations have been proposed for the improvement of sound quality during musical concerts held in the hall. An attempt is made to estimate sound quality of the "theater hall" mode lost now.