

УДК 534.84

АКУСТИКА ТРОИЦКОГО СОБОРА ИПАТЬЕВСКОГО МОНАСТЫРЯ В КОСТРОМЕ

© 1994 г. М. Ю. Ланэ

Всероссийский научно-исследовательский институт телевидения и радиовещания
Москва, 3-я Хорошевская ул, д. 12
Поступила в редакцию 29.04.93 г.

Представлены результаты экспериментального исследования акустики Троицкого собора Ипатьевского монастыря в г. Костроме, которая ранее никогда не изучалась. Получены данные о времени реверберации, индексах прозрачности и четкости, а также о структуре звуковых отражений в различных частях собора. Установлено, что собор может быть разделен на две зоны, акустические условия в которых существенно отличаются. К первой зоне относится часть площади собора, в которой наблюдается прямой звук от источника (что совпадает с условиями прямой видимости), а ко второй – часть площади, где прямой звук экранируется массивными несущими столбами собора.

Троицкий собор является выдающимся памятником русского зодчества XVII в. Пятиглавый крестовокупольного типа храм, поставленный на высокий подклет и окруженный с трех сторон галереями, был построен в 1650 - 1652 гг. на месте более древнего здания, разрушенного в результате взрыва порохового склада. Общие размеры здания 34 × 32 м при высоте 43.5 м. По своему планировочному решению собор представляет четверик с четырьмя массивными колоннами (столбами), между которыми выложены подпружные арки. Собору посвящена обширная литература (см. библиографию в [1]). Однако почти все публикации уделяют основное внимание декоративному убранству храма: фресковой живописи, которой покрыты стены собора и галерей; иконостасу, а также трем дверям, расписанным в технике золотой наводки и сохранившимся от разрушенного старинного здания. Собственно архитектуре собора уделено гораздо меньше внимания. В частности, из известных публикаций план памятника приведен только в работе [2], причем в очень мелком масштабе.

Объем четверика разделен иконостасом на две части: алтарную и собственно собор, где находились прихожане и проходила служба. Пятирусный иконостас очень высокий и практически доходит до уровня перекрытий. Это позволяет рассматривать алтарную часть и собор как два акустически не связанных объема. План помещения показан на рис. 1. Три штриховых круга отмечают проекции центрального и двух боковых куполов (два остальных боковых купола находятся в алтарной части). Как видно, в центральной части собора находятся два крупных столба, имеющих квадратное сечение 2.5 × 2.5 м. Пол в соборе каменный. Стены и перекрытия оштукатурены и покрыты фресковой живописью. В соборе имеются шесть дверей, из которых три ведут в

алтарную часть, а три других – в боковые галереи. Размеры помещения 17 : 5 × 13.3 м, высота от уровня пола до оснований барабанов куполов 14 м. Общий объем помещения 3250 м³. Акустика собора ранее никогда не изучалась.

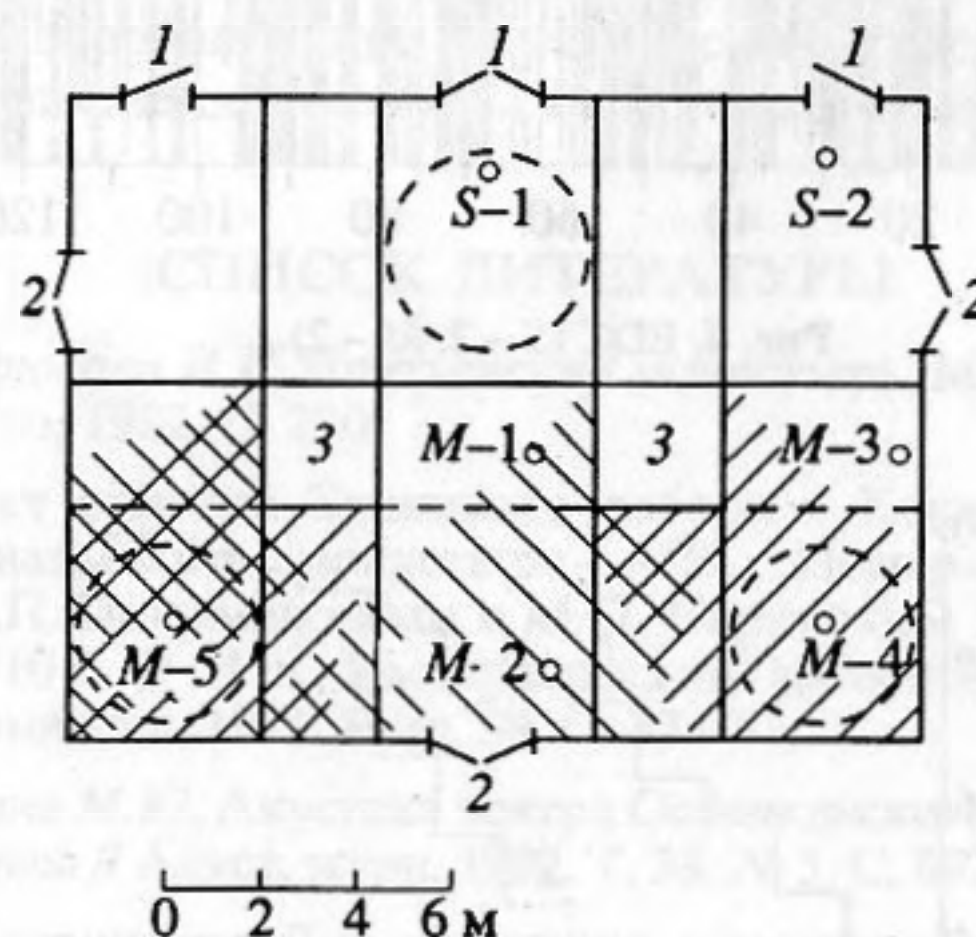


Рис. 1. План собора: 1 – двери в алтарную часть; 2 – двери в галереи; 3 – несущие столбы; S, M – положения соответственно источника и приемника звука при измерениях.

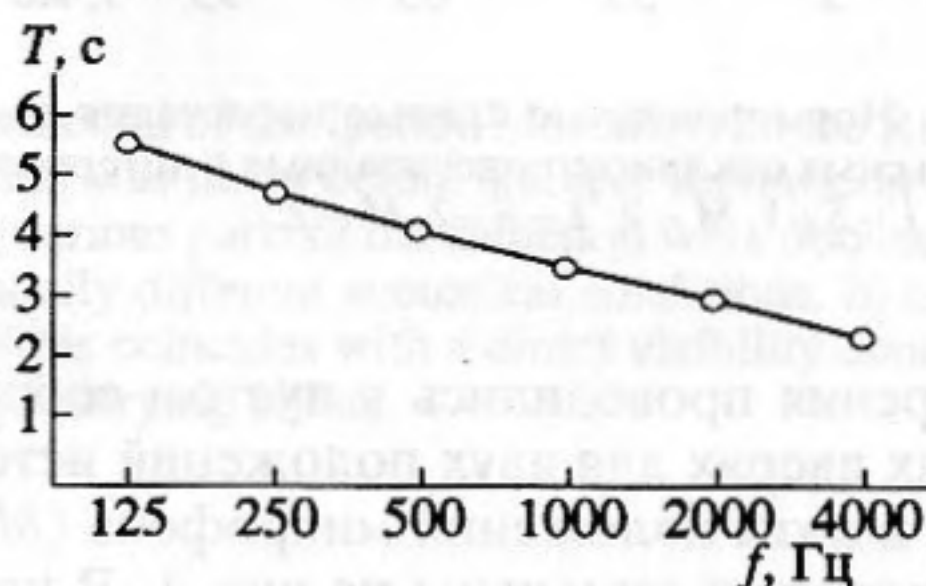
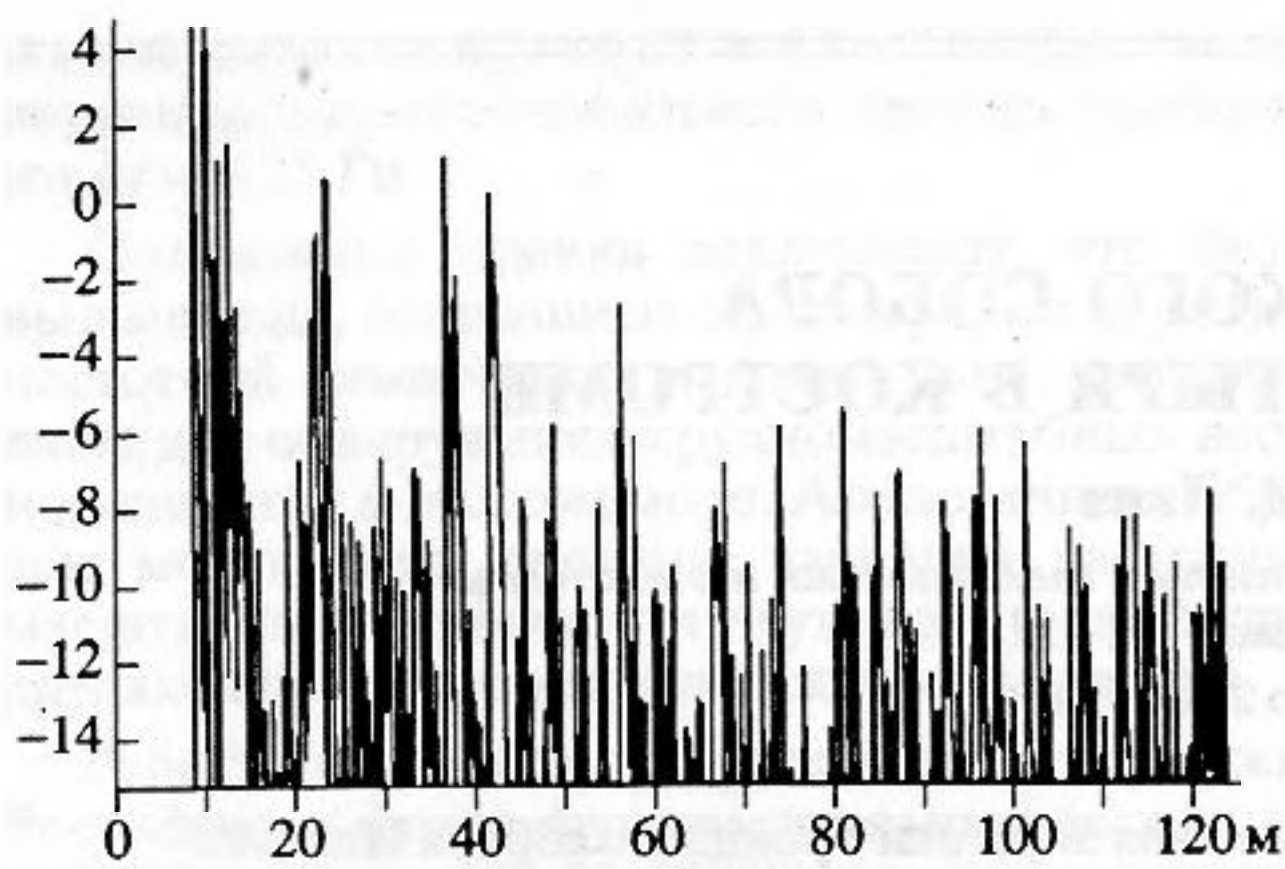
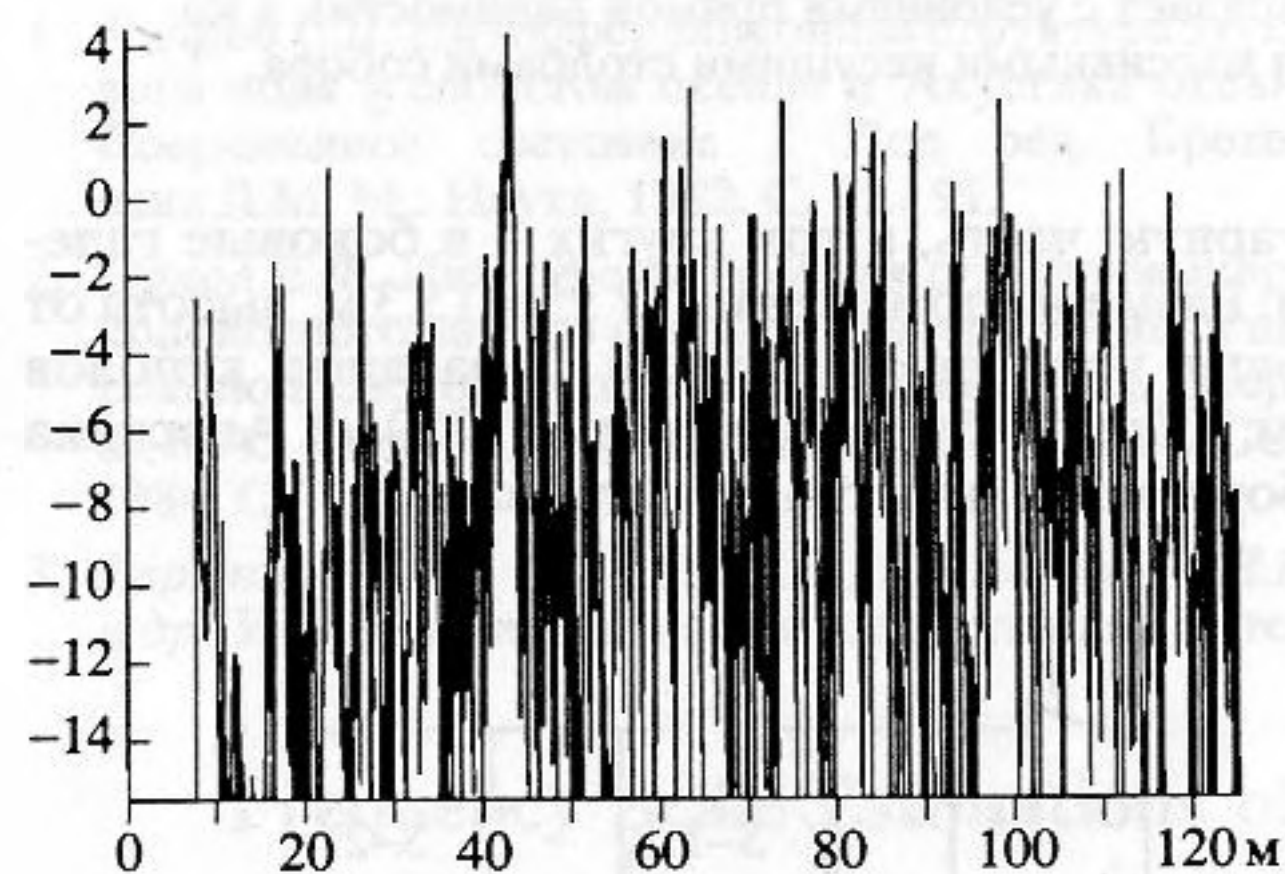
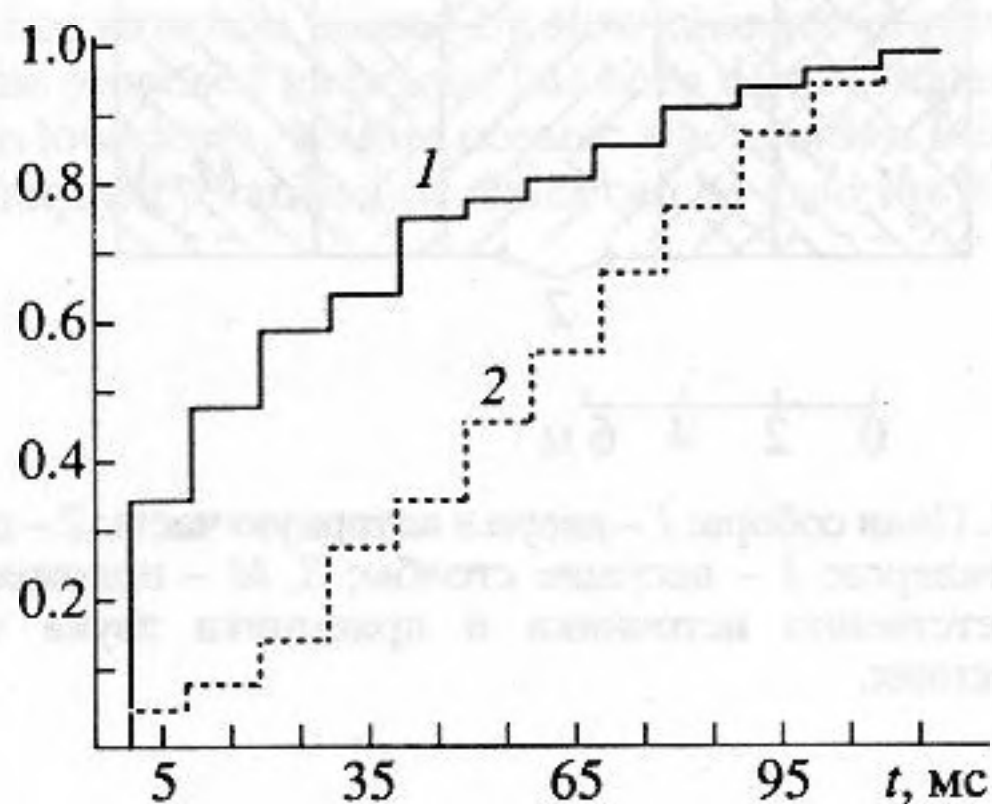


Рис. 2. Измеренные значения времени реверберации.

Рис. 3. EDC ($S-1, M-2$).Рис. 4. EDC ($S-2, M-2$).Рис. 5. Нормированные кривые нарастания энергии импульсных откликов, подсчитанные в интервалах по 10 мс: 1 — $S-1, M-2$; 2 — $S-2, M-2$.

Измерения проводились в пустом соборе при закрытых дверях для двух положений источника ($S-1, 2$) и пяти положений микрофона ($M-1, 2, 3, 4, 5$), которые отмечены на рис. 1. В качестве испытательного сигнала использовались выстрелы из стартового пистолета. Процедура измере-

ния, обработка результатов и использованная аппаратура описаны в работе [3]. В итоге для всех комбинаций положений источник–приемник звука определялись: время реверберации T , индекс прозрачности C_{80} , индекс четкости D_{50} , а также структура звуковых отражений в форме кривых энергия–время (EDC).

Как следует из рис. 2, время реверберации собора на средних частотах составляет 3–4 с, а на низких – возрастает до 5.5 с. Площадь пола собора равна 220 м², что позволяет ориентировочно оценить число посетителей церковной службы (при их комфортном размещении) в 150 человек. Используя известные положения статистической теории акустики помещений [4], можно установить, что при наличии указанного числа людей на средних частотах следует ожидать $T = 2.5$ с, а на низких частотах – $T = 4$ с. Для сравнения отметим, что для речевого режима в помещении данного объема рекомендуется среднечастотный оптимум реверберации $T = 1$ с, а для характерного для церковной службы хорового пения – $T = 1.55$ с. Поэтому с данных позиций время реверберации собора является завышенным.

Обращаясь к результатам импульсных измерений, мы сталкиваемся с одной проблемой, которая довольно типична для многих русских храмов небесстолпного типа. Речь идет о том, что массивные несущие опоры экранируют прямой звук на достаточно большой площади помещения. На рис. 1 штриховкой отмечены подобные зоны экранировки прямого звука двумя массивными столбами для положений источника $S = 1$ и $S = 2$. Как видно, эти зоны охватывают не менее 1/3 площади собора. Отсутствие прямого звука существенно влияет на акустические условия помещения. На рис. 3 показана структура отражений для точки $M = 2$ при размещении источника в $S = 1$. Она достаточно типична для гулкого помещения. Отчетливо проявляется импульс прямого звука, а затем в течение 40 мс приходит достаточно большое число ранних интенсивных отражений. Совершенно другой характер имеет кривая EDC, измеренная в той же точке при смещении источника в положение $S = 2$ (рис. 4). Здесь первым приходит звуковое отражение от боковой грани столба, а затем фиксируется большое число последующих отражений. Причем уровень самого первого отражения на 7 дБ меньше, чем у наиболее интенсивного отражения, задержанного относительно него на 40 мс. На рис. 5 показаны кривые нарастания энергии импульсных откликов, приведенных на рис. 3 (кривая 1) и на рис. 4 (кривая 2). Подсчет производился во временных интервалах по 10 мс с последующим суммированием энергий. Обе кривые нормированы относительно полной энергии импульсных откликов за 125 мс. При измерениях в положении $S = 1, M = 2$, виден резкий начальный скачок кривой за счет значительной энергии прямого звука. В то же

время при его отсутствии ($S = 2, M = 2$) нарастание кривой на начальном участке происходит гораздо медленнее, что свидетельствует о меньшей энергии импульсного отклика в ранней полезной временной области.

Приведенные в таблице значения энергетических критериев разделены на две группы. В первую включены результаты, полученные при тех положениях источник-приемник, когда наблюдается прямой звук, а во вторую группу — когда прямой звук экранируется столбами собора. В серии 2 фиксируются существенно меньшие значения C_{80} и D_{50} . Среднее значение C_{80} в серии 1 составляет -0.05 дБ, а в серии 2 оно равно -4.47 дБ (соответственно для D_{50} равно -3.95 и -8.40 дБ). Используя известные соотношения между D_{50} и разборчивостью [4], можно сделать вывод, что при наличии прямого звука в соборе следует ожидать хорошую понятность речи, а в зонах, где прямой звук экранируется столбами, — от плохой до удовлетворительной. Первое связано также с тем, что хотя время реверберации помещения достаточно большое, но в зонах, где наблюдается прямой звук, расстояние от источника до приемника невелико и в среднем составляет всего 8 м. Что касается значений C_{80} , то при наличии прямого звука они близки к рекомендованному от -1 до $+3$ дБ, а при его экранировке значения C_{80} явно занижены.

Проведенные субъективные прослушивания не зафиксировали наличия порхающего эха или иных нежелательных поздних эхообразований. Объективные измерения также не отметили подобных акустических дефектов. Это свидетельствует, в частности, о том, что с акустической позиции профиль куполов был выбран строителями собора весьма удачно.

Данная работа является частью начатой программы по изучению акустики старинных российских храмов. Ее итоги позволяют сформулировать ряд проблем, представляющихся наиболее актуальными для дальнейших исследований, а именно: 1) взаимосвязь объемно-планировочного решения храмов с разборчивостью речи; 2) уточ-

Значения энергетических критериев

Положение источника	Положение приемника	C_{80} , дБ	D_{50} , дБ
группа 1 — наблюдается прямой звук			
S-1	M-1	-1.6	-4.9
S-2	M-1	-1.5	-4.9
S-1	M-2	1.0	-3.2
S-1	M-3	-1.2	-4.7
S-2	M-3	1.2	-3.1
S-2	M-4	1.8	-2.9
группа 2 — прямой звук экранируется столбами			
S-2	M-2	-5.2	-10.1
S-1	M-4	-3.9	-7.9
S-1	M-5	-2.3	-5.9
S-2	M-5	-6.5	-9.8

нение оптимума объективных критериев акустического качества применительно к особенностям церковной службы; 3) разработка методов построения систем звукоусиления, позволяющих улучшить качество звучаний в храмах (что особенно актуально для крупных соборов).

Автор выражает благодарность заведующей отделом Костромского историко-архитектурного музея-заповедника О.С. Куколевской за содействие в организации акустических измерений и разрешение ознакомиться с чертежами собора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Брюсова И.Г. Ипатьевский монастырь. М.: Искусство, 1982. С. 230.
2. Акт осмотра Троицкого собора в Костромском Ипатьевском монастыре А.Н. Померанцевым, П.П. Покрышкиным и М.О. Чириковым 5 - 8 мая 1910 г. // Изв. Императорской археологической комиссии. 1911. Вып. 39. С. 77 - 87.
3. Ланэ М.Ю. Акустика театра Останкинского дворца-музея // Акуст. журн. 1992. Т. 38. № 5. С. 892 - 897.
4. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986. С. 173.

Acoustics of the Troitskii Cathedral in the Ipat'ev Monastery

M. Yu. Lane

An experimental investigation into the acoustics of the Troitskii cathedral of the Ipatiev Monastery in the Russian city of Kostroma was conducted. The acoustics of this cathedral was never before studied. Reverberation times, indices of clarity and definition, and the reflection pattern in various parts of the cathedral were obtained. The interior space was found to consist of two areas with substantially different acoustical conditions. In one part of the cathedral one can hear sound directly from the source (this coincides with a direct visibility condition), while in the other part direct sound is screened by heavy load carrying pillars.