Электронный журнал «Техническая акустика»
http://www.ejta.org

2015, 1

М. Ю. Ланэ, Г. А. Локшин

ООО АРИС-ПРО, лаборатория архитектурной акустики
117519 Москва, Кировоградская ул., e-mail: mlannie@mail.ru

Акустика мечети Хазрати Имам в Ташкенте

Получена 26.01.2015, опубликована 16.02.2015

Представлены результаты акустического обследования крупной соборной мечети построенной в 2007 г. и органично включенной в ансамбль исторической застройки Ташкента. Измерения были выполнены в пустой мечети согласно стандарту ISO 3382-1. Представлены данные по времени реверберации, разборчивости речи, структурам звуковых отражений и другим критериям акустического качества. Из рассмотрения полученных результатов следует, что разборчивость речи в мечети недостаточна, что подтверждается и субъективной оценкой. Сформулированы возможные подходы к улучшению качества звучания, основанные как на применении звукопоглощающих материалов, так и на модернизации системы звукоусиления.

Ключевые слова: архитектурная акустика, мечеть, молельный зал мечети, разборчивость речи, акустические измерения.

1. КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ МЕЧЕТИ

Соборная мечеть Хазрати Имам была построена в 2007 году и входит в состав крупного комплекса исторической застройки Ташкента. Здание мечети, перед которым находятся два минарета, имеет П-образную форму. Внутри «буквы П» расположен внутренний двор, в который выходят окна и двери мечети (рис. 1).

План мечети приведен на рис. 2. Собственно молельный зал повторяет контуры здания мечети и также имеет П-образную форму. Мечеть состоит из трех основных связанных объемов и полностью симметрична относительно поперечной оси. В боковых частях П-образного плана находятся два прямоугольных объема шириной 17 м и длиной 29 м каждый. Они отделены от основного объема мечети внутренними колоннами прямоугольной формы, которые обозначены на плане. Один из этих двух объемов предназначается для моления женщин. На время службы в уровне колонн устанавливаются ажурные ширмы, что требуется по мусульманскому канону.

Основная часть молельного зала представляет собой крупное прямоугольное в плане пространство длиной 76 м и шириной 22 м. В центре находится ниша михраба, а слева от нее размещен минбар. Мечеть способна вместить до 4000 человек. Светлый просторный зал мечети хорошо освещается благодаря большим окнам, выходящим во внутренний двор и на площадь, а также остеклению в нижней части барабанов двух

куполов. Оба симметричных купола имеют цилиндрические барабаны с окнами. Переход к барабанам выполнен по падугам, а верхнее перекрытие представляет собой купольный свод. Форма куполов показана на рис. 3. Представление об интерьере молельного зала дают показанные на рис. 4 фотографии.

Рис. 1. Внешний вид мечети (слева) и
вид ее фасада со стороны внутреннего двора (справа)

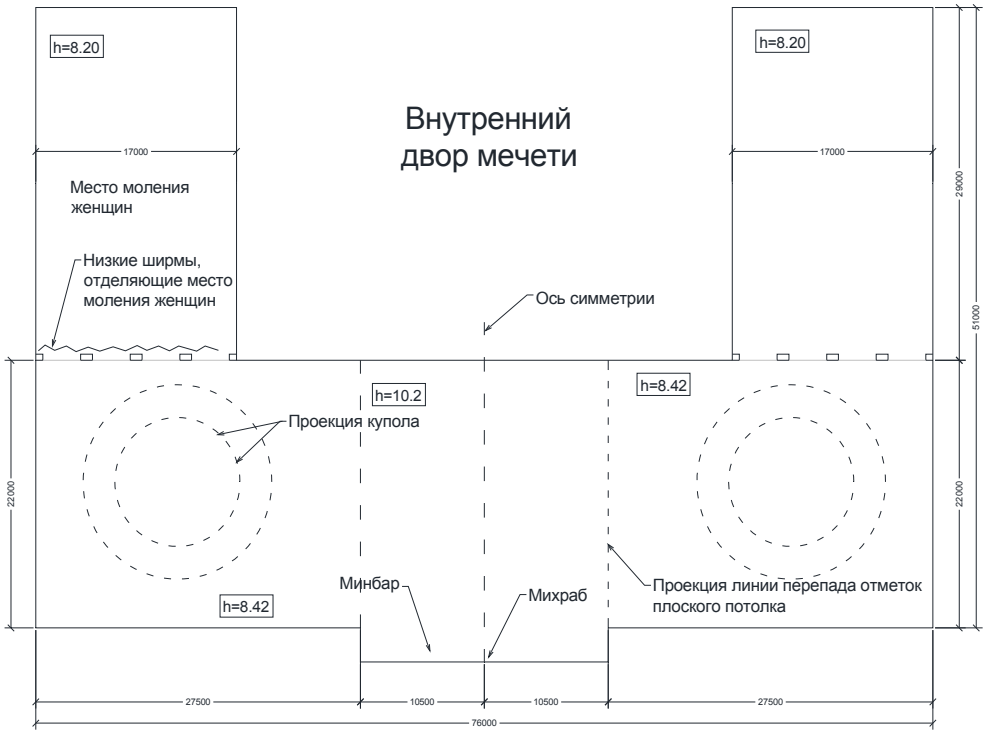
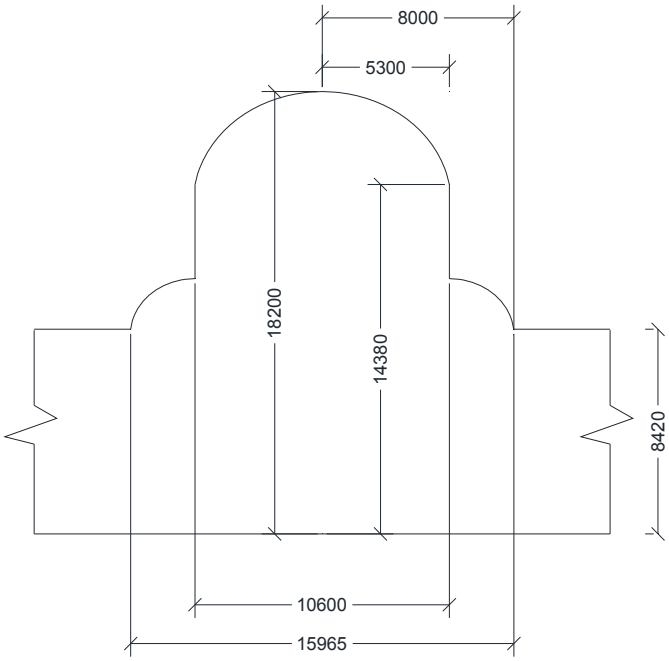


Рис. 2. План мечети



Площадь молельного зала составляет 2730 м^2, а общий воздушный объем равен V=25100 м^3. Пол по всей площади застелен коврами. В отделке стен применены исключительно жесткие хорошо отражающие звук материалы (штукатурное покрытие, гипсокартон, лепной декор и т. п.).

Рис. 3. Форма куполов мечети

Рис. 4. Фотографии интерьера мечети

2. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИЗМЕРЕНИЙ

Измерения в пустом молельном зале мечети проводились по методике, регламентированной международным стандартом [1]. С учетом полной симметрии помещения они выполнялись в одной его половине. Всего было выбрано 13 точек для размещения измерительного микрофона, которые показаны на плане мечети (рис. 5).

Источником звука был специально изготовленный ненаправленный излучатель. Отличие его характеристики направленности от сферической формы не выходило за пределы, указанные в стандарте [1]. Приемником звука являлся ненаправленный измерительный микрофон приемник давления.

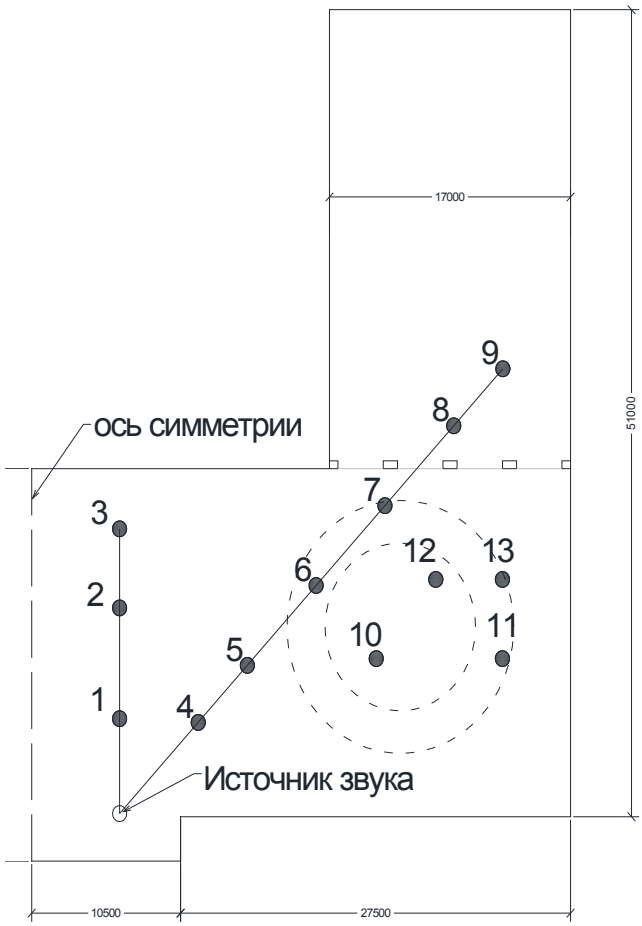


Рис. 5.

Размещение источника и приемника звука при проведении измерений. Показана половина плана симметричного помещения, в которой проводились измерения. 1, 2…13 – точки размещения измерительного микрофона

В качестве тестового сигнала применялись последовательности максимальной длины MLS. Длина последовательности была выбрано равной 8 с, что заведомо превышало время реверберации рассматриваемого зала. В условиях предварительно откалиброванного тракта этот тестовый сигнал поступал на усилитель мощности и излучался в помещение. Отклик зала на тестовый сигнал воспринимался измерительным микрофоном. Затем он поступал на аналого-цифровой преобразователь профессиональной звуковой карты и записывался на жесткий диск ноутбука. Тот же

ноутбук использовался как генератор тестового MLS сигнала, который с выхода цифро-аналогового преобразователя звуковой карты подавался на усилитель мощности и воспроизводился источником звука.

Такая процедура была последовательно повторена для всех положений микрофона, в каждом из которых запись импульсных откликов производилась не менее трех раз. В итоге были записаны файлы импульсных откликов зала. В результате их обработки были получены данные о критериях акустического качества зала, основные из которых будут приведены в следующем разделе.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Средние по молельному залу значения времени реверберации (RT) и времени раннего затухания (EDT) приведены на рис. 6. Оба эти показателя незначительно меняются по площади помещения.

На рис. 7 показаны величины индекса четкости звучания C_{50} для всех 13 точек размещения измерительного микрофона. На средних частотах C_{50}>0 дБ только в двух точках 1 и 4, которые расположены в непосредственной близости от источника звука.

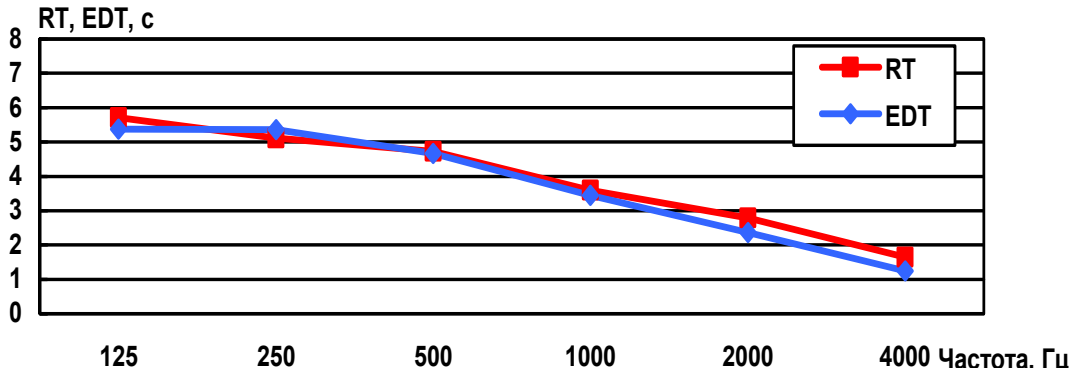


Рис. 6. Средние по залу значения времени RT и EDT

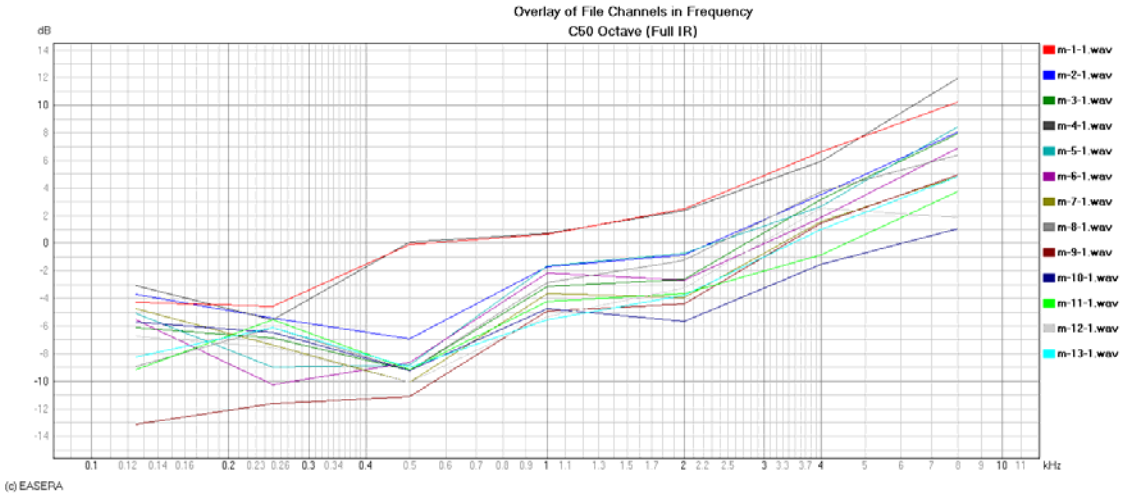


Рис. 7. Частотные характеристики C_{50} в 13 точках размещения микрофона

В таблице 1 показаны значения индекса передачи речи (STI) также для 13 точек размещения микрофона.

Табл. 1. Измеренные значения STI

№ точки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
STI	0,56	0,49	0,46	0,54	0,49	0,46	0,43	0,44	0,38	0,43	0,41	0,42	0,42

На рис. 8 и 9 приведены два примера структур звуковых отражений зала в форме кривых энергия-время (ETC). Одна из них была зафиксирована в точке 1 вблизи источника звука, а другая в точке 9, расположенной в боковой части зала.

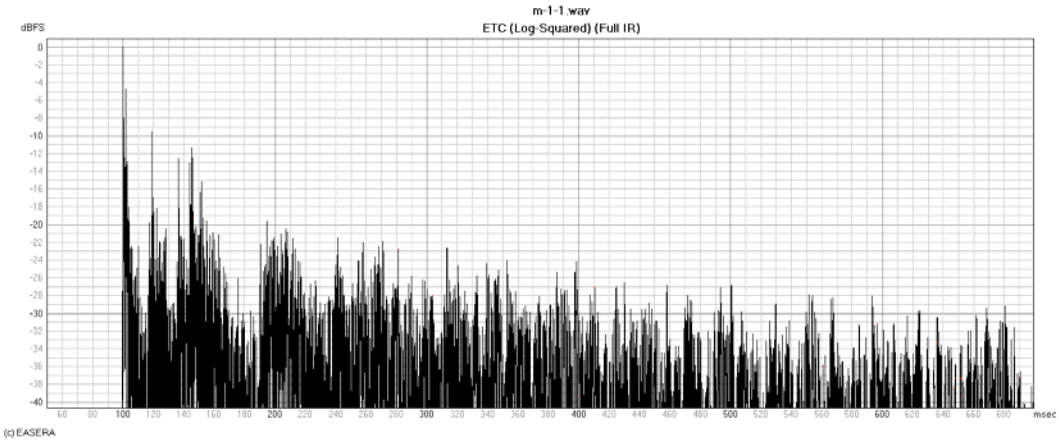


Рис. 8. ETC. Микрофон в точке 1 вблизи источника звука

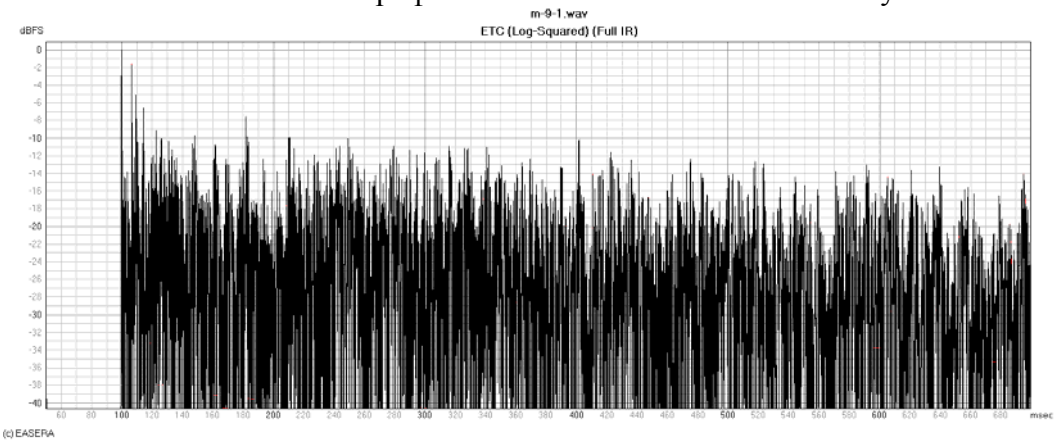


Рис. 9. ETC. Микрофон в точке 9 в боковом объеме зала

4. АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ

Мечеть Хазрати Имам имеет достаточно традиционную отделку, в которой использованы, в основном, штукатурное покрытие, гипсокартон и лепной декор. Отсутствие звукопоглощающей облицовки закономерно приводит к чрезмерно большой гулкости молельного зала. Время реверберации пустой мечети на средних частотах составляет около 3.5 с, а на низких частотах достигает 5.7 с.

Разумеется, представляет интерес оценка времени реверберации при заполнении мечети молящимися. Проведенные исследования установили звукопоглощающие свойства людей на ковре в разных положениях, характерных для мусульманской службы [2]. Наибольшее звукопоглощение было зафиксировано для случая, когда молящиеся стоят на ковре. С учетом этих данных результаты измерений были откорректированы на случай нахождения в мечети молящихся, которые стоя занимают 1000 м^2 площади ковра (около половины от всей площади мечети). Было установлено, что в этом случае на средних частотах время реверберации мечети составит 2.8 с. Это достаточно большое значение, при котором трудно обеспечить высокую разборчивость речи.

Время раннего затухания в мечети близко к времени реверберации. Это косвенно свидетельствует о монотонном характере затухания реверберационного процесса, что характерно для крупных, гулких и соразмерных помещений. Рассматриваемая мечеть не может быть отнесена к соразмерным помещениям, поскольку ее наибольший размер в 76 м значительно больше высоты плоского потолка в (8.4-10.2) м. Кроме этого имеются примыкающие боковые объемы. Тем не менее, измерения показывают, что характер затухания уровней звукового давления происходит монотонно. При этом не наблюдаются явно выраженные перегибы реверберационных кривых, что достаточно часто происходит в помещениях, у которых один из габаритных размеров существенно превышает другой. В качестве примера на рис. 10 показаны реверберационные кривые, сглаженные по методу Шредера. Верхняя кривая соответствует размещению измерительного микрофона в точке 9, которая находится в боковом объеме мечети. Нижняя кривая соответствует размещению измерительного микрофона в точке 2, которая находится в центральной части помещения.

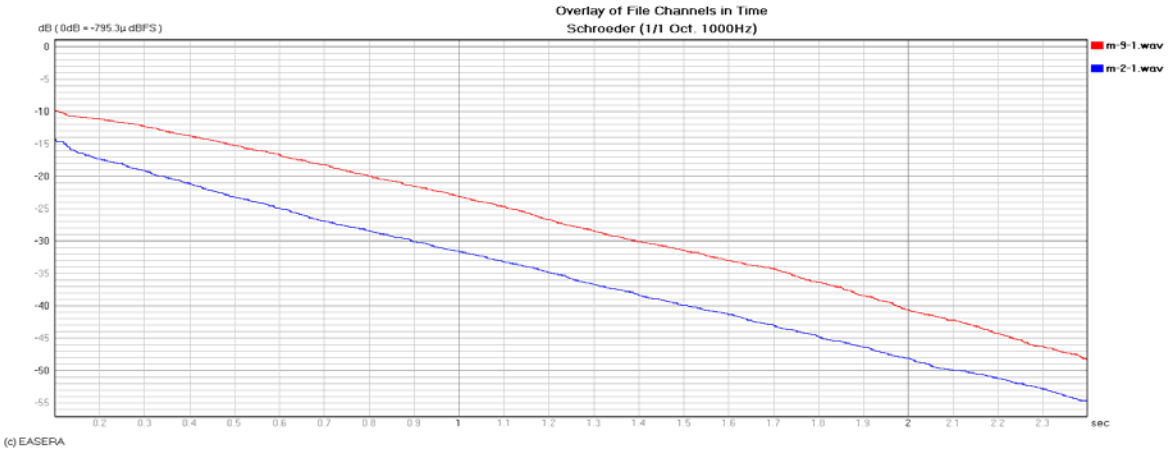


Рис. 10. Сглаженные по методу Шредера реверберационные кривые в двух точках мечети. Октавная полоса 1000 Гц

Как видно, в обоих случаях процесс затухания уровней звукового давления происходит по прямой линии и отклонения от этого незначительны. Отсутствие перегибов в реверберационных кривых следует трактовать как положительный фактор применительно к качеству звучания. Этому, по всей видимости, способствовало то, что оба боковых объема мечети связаны с основным объемом весьма широкими проемами.

Значения индекса четкости звучания на средних частотах составляют C_{50} ~ –5 дБ. Лишь в двух точках 2 и 4 среднечастотные значения этого критерия составляют около 0 дБ, причем обе эти точки находятся в непосредственной близости от источника звука. Тот факт, что на большей части площади мечети величины C_{50} оказываются существенно меньше 0 дБ, свидетельствует о недостаточной разборчивости речи. В настоящее время оценка разборчивости почти повсеместно основывается на использовании критерия индекса передачи речи (STI). Как следует из данных табл. 1, на большей части площади мечети STI < 0.45, что соответствует плохой разборчивости. Лишь вблизи источника звука наблюдаются большие значения (STI = 0.49–0.56), соответствующие удовлетворительной разборчивости. Более высокие значения, при которых следовало бы ожидать хорошую разборчивость речи, в ходе измерений не были зафиксированы.

5. ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПО УЛУЧШЕНИЮ КАЧЕСТВА ЗВУЧАНИЯ

1. Основным требованием к акустике мечетей является обеспечение хорошей разборчивости, при которой люди без напряжения понимают речь имама, читающего молитвы. С этой позиции условия в мечети Хазрати Имам не являются идеальными. Высокая гулкость зала обуславливает недостаточную разборчивость.

2. Причины повышенной гулкости мечети связаны с тем, что в ее интерьере использованы исключительно жесткие, хорошо отражающие звук материалы. При этом в молельном зале прослушивается нежелательное многократное эхо от параллельных друг другу стен, а также ощущается однократное эхо под куполами.

3. Возможные пути улучшения акустики мечети могут быть связаны с решением двух задач, детальная разработка которых планируется в ходе последующей работы.

Первая из них основывается на размещении в интерьере мечети звукопоглощающих материалов. Разумеется, при этом следует соблюсти требования мусульманского канона, а также обеспечить достойный вид интерьера. Возможный в рамках этих ограничений подход может исходить из размещения на потолке современных звукопоглощающих материалов, которые внешне не отличаются от обычного штукатурного покрытия. Может быть применен материал в виде звукопоглощающей панели толщиной в 14-18 мм (например, из стеклогранулята), которая устанавливается в каркасе на потолке, а затем покрывается специальными акустически прозрачными составами. В итоге получается бесшовная гладкая поверхность, которая зрительно выглядит как штукатурное покрытие, но обладает при этом звукопоглощающими свойствами.

Вторая задача связана с установкой в зале более эффективных акустических излучателей системы звукоусиления. В настоящее время озвучивание мечети происходит с использованием размещенных на передней стене акустических систем, одна из которых видна на рис. 4 (верхняя фотография справа). Это обычные двухполосные акустические системы, характеризующиеся достаточно широкой диаграммой направленности. Между тем для речевого озвучивания крупных и гулких помещений целесообразно использовать специальные акустические системы с очень узким лепестком диаграммы направленности в вертикальной плоскости. Это позволяет сконцентрировать и направить большую часть звуковой энергии на зоны помещения, где размещаются люди. Подобное решение, хорошо зарекомендовавшее себя на практике, в том числе и в крупных соборных мечетях, позволит заметно улучшить разборчивость речи в молельном зале.

ЛИТЕРАТУРА

1. ISO 3382-1:2009. Acoustics. Measurement of room acoustic parameters. Part 1: Performance spaces (ГОСТ Р ИСО 3382-1-2013).
2. W. Ahnert, S. Feistel, T. Behrens. Speech intelligibility prediction in very large sacral venues //Architectural Acoustics Session 4pAAa. ICA 2013 Montreal, Canada, 2-7 June 2013.