

УДК 725.85:534.84

Проблемы акустики спортивных арен без звукопоглощающей отделки

И.С. Купоросова¹

irina.kuporosova@pistra.ru

А.В. Перетокин¹

А.С. Фадеев¹

Н.Г. Канев^{1,2}

¹ ООО «Проектный институт строительной акустики», Москва, Россия

² МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва

Рассмотрена проблема акустики спортивных арен. Приведены результаты измерения времени реверберации на девяти спортивных аренах, в которых не предусмотрена специальная акустическая отделка. На основании сопоставления акустических характеристик арен с известными рекомендациями сделан вывод, что все рассмотренные арены имеют высокое время реверберации. Показано, что для обеспечения хороших акустических условий отделки внутренних поверхностей арен должна обязательно включать применение эффективных звукопоглощающих материалов.

Ключевые слова: спортивные арены, время реверберации, акустический комфорт, звукопоглощение

Введение. Акустика — один из важных аспектов проектирования спортивных сооружений. От акустических характеристик спортивной арены зависят как впечатления болельщиков на трибунах, так и успехи спортсменов, например, футболистам важно слышать команды друг друга, а гимнастам — четко воспринимать музыку, которой сопровождается их выступление. Для тренировочного процесса важна речевая коммуникация между тренерским составом и спортсменами, а для этого необходима хорошая речевая разборчивость. Кроме того, для зрителей, вне зависимости от размера арены и ее функционального назначения, важно воспринимать речевую информацию диктора, воспроизводимую через системы звукоусиления, с высокой разборчивостью.

Однако реализация хорошей акустики является сложной задачей. В первую очередь, это связано с большими габаритами арен: большой воздушный объем обуславливает высокую гулкость, кроме этого, отражение звука от далеко расположенных друг от друга ограждающих конструкций может проводить к заметному эху и ухудшению разборчивости речи, объявлений, музыкального сопровождения [1]. Ключевым фактором, влияющим на низкое качество акустических условий, являются материалы, применяемые для отделки внутренних поверхностей: часто это жесткие материалы (например, оштукатуренные и окрашенные стены, сэндвич-панели или металлический профлист на потолке), хорошо отражающие звук и способствующие избыточной гулкости.

Так, при акустическом проектировании спортивных арен необходимо предпринять меры для снижения звуковой энергии отражений. Как показывает

практика [1–6], для снижения негативных эффектов звуковых отражений необходимо размещение специализированных звукопоглощающих материалов.

Обзор нормативной базы. Время реверберации — основной параметр, характеризующий акустику спортивных арен. При проектировании спортивных сооружений необходимо принимать оптимальные значения времени реверберации в соответствии с национальными стандартами или соответствующими рекомендациями. В России действует специализированный свод правил СП 415.1325800.2023 [7], в котором указаны оптимальные акустические условия для спортивно-зрелищных сооружений. Текст рассматриваемого стандарта претерпел недавно значительные изменения, в частности, в нормировании времени реверберации (рис. 1).

Однако требования национальных стандартов большинства стран ограничиваются небольшими объемами, характерными для спортивных залов. Например, в немецком стандарте DIN 18041–2016 [8] требования к значениям времени реверберации предъявляются только для спортивных залов и бассейнов, объем которых не превышает 30 тыс. м³ (рис. 1).

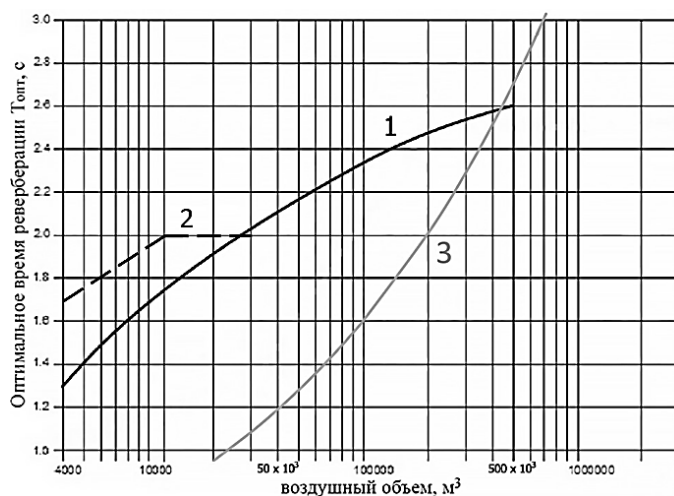


Рис. 1. Сравнение графиков оптимального времени реверберации:

1 — для крытых спортивных залов и арен, согласно [7]; 2 — для спортивных залов и бассейнов, согласно [8]; 3 — по формуле (1), согласно [3]

В Европе при проектировании спортивных арен [1, 3–4] оптимальные значения времени реверберации, как правило, принимают в соответствии с математической зависимостью, полученной авторами работы [3]:

$$T_{60} = 0,038V^{0,325}, \quad (1)$$

где V — объем, м³.

Выражение (1) является аппроксимацией значений времени реверберации, рассчитанных с учетом полученной Хаасом зависимости процента потревоженных слушателей от времени задержки звука: отраженный звук, запаздывающий на 50 мс и более, воспринимается как эхо и перестает беспокоить зрителей, когда его уровень на 10 дБ ниже уровня прямого звука.

На рис. 1 показано сравнение значений времени реверберации, приведенных в СП 415.1325800.2023, DIN 18041-2016 и полученных по формуле (1). Анализ графиков на рис. 1 показывает отсутствие единого подхода к нормированию времени реверберации спортивных сооружений, что подчеркивает сложность рассматриваемого вопроса.

Стоит отметить, что значения времени реверберации, указанные в СП 415.1325800.2023 [7], приведены для спортивных сооружений при условии заполненности трибун зрителями на 70 %, а в DIN 18041-2016 [8] — на 80 %. Значения, полученные по формуле (1), не учитывают заполненность арены зрителями, при этом, они строже значений [7] и [8] для спортивных сооружений воздушным объемом до 700 тыс. м³.

В [2] приведены результаты большого исследования, целью которого было определить акустические критерии современных спортивных сооружений различных объемов для использования в проектировании будущих спортивных арен. Результаты исследования показали, что среднее значение времени реверберации для спортивных арен объемом от 40 тыс. м³ до 440 тыс. м³ составляет 2,6 с (в диапазоне частот 125...2000 Гц). Таким образом, снова проанализировав график на рис. 1, можно сделать вывод, что оптимальные значения, указанные в СП 415.1325800.2023, более реалистичные и достижимые, чем полученные по ориентировочной формуле (1).

Международная федерация футбола FIFA предъявляет следующие требования к акустике футбольных стадионов: значения времени реверберации должны быть не выше 4 с [9]. При этом, воздушный объем таких сооружений лежит в диапазоне приблизительно 0,7...2 млн м³ [9], а над футбольным полем отсутствует стационарная крыша. Значения времени реверберации, предъявляемые FIFA, являются менее строгими в отличие от СП 415.1325800.2023 и значений, полученных по формуле (1).

Акустическое обследование спортивных арен без акустической отделки. В работе представлены результаты акустического обследования семи спортивных арен (со зрительскими местами) и двух тренировочных арен (не подразумевают устройство мест для зрителей) без применения специализированной акустической отделки. Как правило, причина данных измерений заключалась в следующем: на этапе проектирования вопрос акустики не прорабатывался, а после ввода в эксплуатацию объектов были отмечены неудовлетворительные акустические характеристики, которые выражались в избыточной гулкости и низкой речевой разборчивости. Акустическое обследование спортивных сооружений было произведено без зрителей в соответствии со стандартной методикой [10]. Результаты измерений времени реверберации показаны на рис. 2.

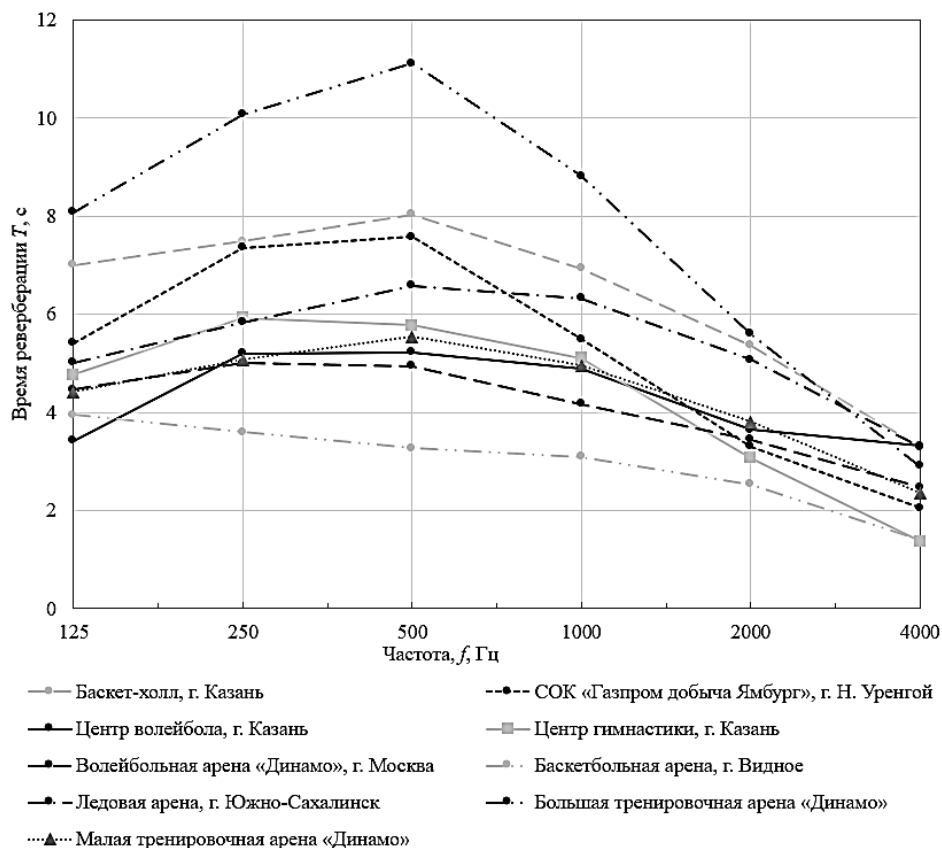


Рис. 2. Результат измерений времени реверберации на аренах (без зрителей)

На рис. 2 видно, что вне зависимости от воздушного объема, вместимости и назначения спортивных арен (с наличием или отсутствием трибун) кривые времени реверберации имеют схожую «колоколообразную» зависимость: наибольшие значения наблюдаются на средних частотах; на низких частотах несколько ниже из-за наличия в отделке гибких облицовок большой площади (например, облицовки из ГКЛ, сэндвич-панели и профлист), что характерно для общественных помещений большой вместимости [11]; на высоких частотах — из-за поглощения звука в воздухе. Для обеспечения равномерности значений времени реверберации во всем диапазоне частот необходимо применение акустических облицовок стен и потолка.

Для оценки времени реверберации в спортивных сооружениях относительно оптимальных значений, указанных в СП 415.1325800.2023 [7], необходимо выполнить пересчет на заполнение трибун зрителями на 70. Далее изложена методика пересчета значений времени реверберации на заполненность зрителями.

Формула Эйринга для расчета времени реверберации [7]:

$$T = -0,163 \frac{V}{S_0 \ln(1 - \alpha_{\text{ср}})}, \quad (2)$$

где V — объем арены, м^3 ; S_0 — общая площадь внутренних поверхностей помещения, м^2 ; $\alpha_{\text{ср}}$ — средний коэффициент звукопоглощения при отсутствии зрителей.

Средний коэффициент звукопоглощения с учетом звукопоглощения, которое добавляет слушатель, сидящий на кресле:

$$\alpha'_{\text{ср}} = \frac{A_{\text{общ}} + n\Delta A_{\text{кр}}}{S_0}, \quad (3)$$

где $A_{\text{общ}} = \alpha_{\text{ср}} S_0$ — эквивалентная площадь звукопоглощения в помещении без зрителей, м^2 ; $\Delta A_{\text{кр}}$ — добавочное звукопоглощение одного кресла со слушателем (эквивалентная площадь звукопоглощения определяется в соответствии с табл. 1), м^2 ; n — количество кресел (70 % от общего числа).

Таблица 1

**Добавочное звукопоглощение заполнения арены зрителями
при разных типах кресел**

Тип кресла	Слушатель	Эквивалентная площадь звукопоглощения A , м^2 , в октавных полосах частот, Гц					
		125	250	500	1000	2000	4000
Жесткое кресло	Со слушателем	0,20	0,25	0,30	0,35	0,35	0,35
	Без слушателя	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
	Дополнительное поглощение, $\Delta A_{\text{кр}}$	0,18	0,23	0,27	0,31	0,31	0,30
Полумягкое кресло	Со слушателем	0,25	0,30	0,40	0,45	0,45	0,40
	Без слушателя	0,08	0,10	0,15	0,15	0,20	0,20
	Дополнительное поглощение, $\Delta A_{\text{кр}}$	0,17	0,20	0,25	0,30	0,25	0,20

Подставляя $\alpha'_{\text{ср}}$ в формулу (2), получим значение времени реверберации спортивной арены с учетом 70 % заполнения зрителями.

В Табл. 2 приведены характеристики спортивных арен и значения времени реверберации, полученные в результате измерений при отсутствии зрителей, а также пересчитанные на 70 % заполнение трибун (среднее значение в октавных полосах частот 500...1000 Гц).

Как видно на рис. 3, даже при пересчете на заполненные зрителями арены значения времени реверберации, как правило, значительно превышают нормативные значения. Достичь оптимальных значений возможно только при выполнении звукопоглощающей облицовки на доступных участках: потолок, не занятый инженерными коммуникациями, и «пояс» стен, расположенный между последним рядом трибун (если они имеются) и потолком.

Результаты акустического обследования спортивных арен

№	Название объекта	Год измерения T	V , тыс. м ³	Количество мест для зрителей N	Тип кресел	Значение T , с, на средних частотах	
						Без заполнения трибун	При заполнении трибун
1	Баскет-холл, г. Казань	2011	145	7000	Ж + М	7,49	4,89
2	СОК «Газпром добыча Ямбург», г. Новый Уренгой	2021	36,6	150	Ж	6,54	6,30
3	Центр волейбола, г. Казань	2013	65	3500	Ж	5,06	3,54
4	Центр гимнастики, г. Казань	2013	97	3200	П/М	5,44	4,31
5	Волейбольная арена «Динамо», г. Москва	2020	66	3500	Ж	4,56	3,27
6	Баскетбольная арена, г. Видное	2017	48	3500	П/М	3,18	2,26
7	Ледовая арена, г. Южно-Сахалинск	2014	45	1430	П/М	6,46	5,16
8	Большая тренировочная арена «Динамо», г. Москва	2020	12,3	—	—	9,97	—
9	Малая тренировочная арена «Динамо», г. Москва	2020	4,8	—	—	5,25	—

Примечание: Ж — жесткое кресло; М — мягкое кресло; П/М — полумягкое кресло.

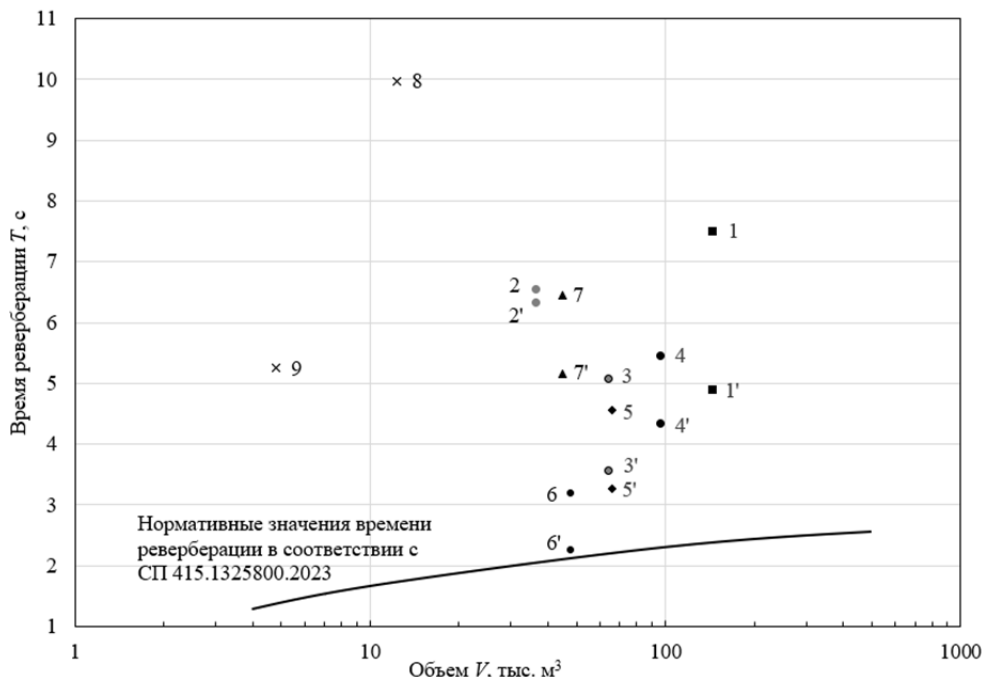


Рис. 3. Время реверберации на аренах при отсутствии зрителей (1-9) и пересчет на заполненные трибуны на 70% (1'-7'). Нумерация арен в соответствии с табл. 2

Заключение. Акустика спортивных арен является сложной ввиду их большого воздушного объема и габаритов, и всегда оказывается проблемой на введенных в эксплуатацию объектах, в отделке которых не предусмотрены специальные звукопоглощающие материалы. Измерения времени реверберации на девяти спортивных аренах разного воздушного объема и функционального назначения показали невозможность достижения оптимальных значений [7] без применения акустической отделки. Акустическую отделку спортивных арен необходимо учитывать и прорабатывать на этапе проектирования, что особенно важно для обеспечения комфортных условий при проведении мероприятий со звуковым сопровождением.

Литература

- [1] Rougier C., Mercier S., Vercammen M. The acoustics of AccorHotels Arena and other large scale indoor pop venues: *Forum Acusticum*, 2020, pp. 1907–1912.
- [2] Merve Eşmebaşı, Zeynep Bora Özyurt, Zühre Sü Gül Contemporary sports arena room acoustics design Conference: *ICSV28-International Congress on Sound and Vibration, Singapore*, 2022, 8 p.
- [3] Lautenbach M., Heringa P., Vercammen, M. Acoustics for large scale indoor pop events: *International Symposium on Room Acoustics*, Seville, 2007, 8 p.

- [4] Bradette A., Lorenz-Kierakiewitz K H. Practical and accurate room acoustical measurements in large indoor multipurpose halls and measures to optimize acoustics. *Inter-Noise*, Austria, 2013, 7 p.
- [5] Lee Y.T., Tsay Y.S. Acoustical and electroacoustical process for improving a multi-purpose sports stadium: *Inter-Noise*, Madrid, 2019, 8 p.
- [6] Piffer A., Resenterra E. Acoustic Adjustment of Large Sports Halls-Case Study: Correction of the Acoustic Response of an Ice Arena for Uses Other Than Skating. *23rd International Congress on Acoustics*, Aachen, 2019, pp. 4598–4605.
- [7] СП 415.1325800.2023. Здания общественные. Правила акустического проектирования. Москва, Минстрой России, 2023.
- [8] DIN 18041-2016. Acoustic quality in rooms — Specifications and instructions for the room acoustic design, Germany, 2016.
- [9] Peretokin A., Livshits A., Orlov A., Shirgina N. Acoustics features of sports facilities on the example of FIFA 2018 football stadiums in Russia: *23rd International Congress on Acoustics*, Aachen, 2019, pp. 811–818.
- [10] ГОСТ Р ИСО 3382-2–2013/ Акустика. Измерение акустических параметров помещений. Часть 2. Время реверберации обычных помещений. Москва, Стандартинформ, 2019.
- [11] Канев Н.Г. Акустика общественных помещений большой вместимости. *Сб. тр. XXXII сессии Российского акустического общества*. Москва, 2019, с. 522–527.