

УДК

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-803-6-??-??>Х.А. ЩИРЖЕЦКИЙ¹, канд. техн. наук (svn36@mail.ru); А.В. ПЕРЕТОКИН^{1,2} (anton.peretokin@acoustic.ru)¹ Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук (127238, г. Москва, Локомотивный пр., 21)² ООО «Акустические материалы» (115054, г. Москва, ул. Новокузнецкая, 33 стр. 2)

Расчет индекса фанатской поддержки при акустическом проектировании крупных спортивных сооружений

Болельщики и фанаты являются неотъемлемой частью эмоциональной и субъективной составляющей настроения зрителей на трибунах при проведении современных спортивных мероприятий на крупных спортивных сооружениях. Но каждое спортивное сооружение дает свой уникальный отклик на акустику помещения при скандировании фанатских речевок, в зависимости от воздушного объема, габаритов, формы и свойств отделочных материалов ограждающих конструкций помещения. В рамках настоящей работы рассмотрено понятие индекса фанатской поддержки для спортивных объектов, в частности футбольных стадионов, разработана аналитическая модель оценки индекса фанатской поддержки. Представлен упрощенный метод расчета индекса фанатской поддержки, позволяющий специалистам, не владеющим специальным компьютерным обеспечением по математическому моделированию акустики помещений проводить сравнительную оценку поддержки этого параметра звуковыми полями, создаваемыми при различных конфигурациях объемно-планировочных решений крупных спортивных сооружений, в первую очередь, их формы в плане. В соответствии с методологией настоящей работы и данными сравнительных расчетов индекса фанатской поддержки, полученными при компьютерном и аналитическом расчете звуковых полей стадионов различной формы в плане введены градации классов качества данного индекса.

Ключевые слова: архитектурная акустика, акустика спортивных сооружений, индекс фанатской поддержки.

Авторы выражают благодарность Анатолию Лившицу и Наталье Ширгиной за идеи и техническую поддержку при компьютерном моделировании акустики футбольных стадионов.

Для цитирования: Щиржецкий Х.А., Перетокин А.В. К вопросу расчета индекса фанатской поддержки при акустическом проектировании крупных спортивных сооружений // *Строительные материалы*. 2022. № 6. С. 00–00.

DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-803-6-00-00>Kh.A. SHCHIRZHETSKII¹, Candidate of Sciences (Engineering) (svn36@mail.ru); A.V. PERETOKIN^{1,2} (anton.peretokin@acoustic.ru)¹ Research Institute of Building Physics of RAACS (21, Lokomotivniy Driveway, Moscow, 127238, Russian Federation)² Acoustic Materials LLC (33 building 2, Novokuznetskaya Street, 115054, Moscow, Russian Federation)

Calculation of the Fan Support Index in the Acoustic Design of Large Sports Facilities

Supporters and fans are an integral part of the emotional and subjective component of the mood of spectators in the stands during modern sporting events at large sports facilities. But each sports facility gives its own unique response to the acoustics of the room when chanting fan chants, depending on the air volume, dimensions, shape and properties of the finishing materials of the room's enclosing structures. Within the framework of this work, the concept of the fan support index for sports facilities, in particular football stadiums, is considered, an analytical model for evaluating the fan support index is developed. A simplified method for calculating the fan support index is presented, which makes it possible for specialists who do not have special computer software for mathematical modeling of room acoustics to conduct a comparative assessment of the support of this parameter by sound fields created with various configurations of space-planning solutions of large sports facilities, primarily their shape in plan. In accordance with the methodology of this work and the data of comparative calculations of the fan support index, obtained by computer and analytical calculation of the sound fields of stadiums of various shapes in the plan, gradations of quality classes of this index are introduced.

Keywords: architectural acoustics, sports facilities acoustics, fan support index.

The authors express their gratitude to Anatoly Livshits and Natalia Shergina for their ideas and technical support in computer modeling of the acoustics of football stadiums.

For citation: Shchirzhetskii Kh.A., Peretokin A.V. Calculation of the fan support index in the acoustic design of large sports facilities. *Stroitel'nye Materialy* [Construction Materials]. 2022. No. 6, pp. 00–00. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0585-430X-2022-803-6-00-00>

При проведении различных спортивных состязаний сложилась устойчивая тенденция формирования специфических объединений болельщиков — так называемых фанатских групп. Болельщики не только определяют эмоционально-акустическую обстановку в крупных спортивных объектах, особенно при проведении популярных спортивных состязаний в игровых видах спорта, например, футбол, хоккей, баскетбол, но и, фактически, явочным порядком, закрепляют за собой определенную зону зрительских мест, например, сектор 33 «Ви́раж» на футбольном

стадионе в Санкт-Петербурге. При этом численность фанатских групп в больших городах доходит до ста и более человек. Таким образом, речевой фон сопровождения состязаний этими группами практически стал одним из ключевых элементов акустической обстановки в крупных спортивно-зрелищных сооружениях (СЗС), т. е. одной из важных составляющих условий обеспечения акустического комфорта в СЗС становится условие достижения приемлемой громкости и разборчивости речевок фанатских групп во всех зонах зрительских мест. Следует отметить, что,

хотя тенденция создания фанатских движений пришла в Россию из-за рубежа, именно в России сформировалось практически четкое разделение местоположения скоординированных фанатских групп и остальной болельщической массы. Обычно такие группы располагаются на трибунах за воротами.

Исходя из данного положения, как в России, так и за рубежом был предпринят ряд попыток ввести некоторый акустический параметр, характеризующий специфику звукового фона проведения спортивно-зрелищных мероприятий [1–3]. В отличие от этого, уже достаточно давно, особенно в игровых видах спорта, установилась тенденция управления речевками болельщиков через систему озвучения с помощью ведущих и диджеев, однако к анализу звукоизлучения собственно фанатских групп это не имеет прямого отношения.

Возвращаясь к поставленной проблеме, особенного внимания здесь заслуживает использованный при анализе акустики больших стадионов так называемый индекс фанатской поддержки, расчеты которого, на основе компьютерного математического моделирования акустики стадионов Чемпионата Мира по футболу 2018 г., представлены в работе [1].

Физический смысл этого параметра достаточно просто представляется следующей формулой [1]:

$$FSI = 6 - DL2, \text{ дБ}, \quad (1)$$

где FSI («Fan Support Index») — индекс фанатской поддержки; $DL2$ — стандартизированный параметр пространственного снижения уровней звукового давления при последовательном увеличении расстояния от источника звука до приемника в два раза.

Очевидно, что для свободного поля $DL2=6$ дБ и, следовательно, $FSI=0$, а при отсутствии затухания звука вдоль трибун $DL2 \rightarrow 0$ дБ и, следовательно, $FSI \rightarrow 6$ дБ.

Расчеты данного параметра на ряде стадионов Чемпионата Мира по футболу 2018 г., проведенные при моделировании акустики стадионов с помощью программного комплекса Одеон показали достаточно интересные результаты [1]: форма плана футбольного стадиона при переходе от прямоугольной к круглой влияет на показания параметра FSI и, таким образом, на величину восприятия фанатских речев. Отсюда можно сделать вывод, что при разработке акустических проектов крупных СЗС, следуя общему алгоритму их проектирования, представленному в [4] и ряде других работ по данной проблеме, например [5, 6], в соответствии с которым при выборе общего объемно-планировочного решения и основных конструкций ограждений соответствующего объекта, архитекторами и инженерами-проектировщиками производится ряд расчетов и графоаналитических построений аналоговыми методами, не требующими у пользователя обладания специальным программным обеспечением, вполне логичным является включение в систему образующих акустических параметров, как-то, время реверберации, струк-

туры первых отражений, и др., также и оценку, хотя и в достаточно упрощенном виде, индекса фанатской поддержки.

Аналитическая расчетная модель индекса FSI

Исходя из вышеизложенного, представляется правильным использовать известную методику разделения процесса формирования звуковых полей в помещениях с псевдодиффузными полями на прямой звук и диффузно-реверберационную составляющую, определяемую как плотность стационарной звуковой энергии после первого акта поглощения на ограждениях СЗС, например, [7]:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{инр}} + \varepsilon_{\text{диф}}, \quad (2)$$

где

$$\varepsilon_{\text{инр}} = \frac{\bar{P}_{\Sigma N} \cdot \bar{\Omega}_N}{4\pi r_i^2 c}, \quad \text{а} \quad \varepsilon_{\text{диф}} = \frac{4\bar{P}_{\Sigma N}}{cB}. \quad (3)$$

где $\bar{P}_{\Sigma N}$ — средняя звуковая мощность, излучаемая группой из N -источников; $\bar{\Omega}_N$ — усредненный коэффициент направленности N -источников; r_i — расстояние от акустического центра источников звука до некоторой i -й точки исследований; c — скорость звука; $B = \frac{aS}{1-\bar{\alpha}}$ — акустическая постоянная помещения [4], где S — общая площадь его ограждений; $\bar{\alpha}$ — средний коэффициент звукопоглощения помещения в исследуемом диапазоне частот.

Особого внимания заслуживает характеристики звукоизлучения фан-групп, состоящих в среднем из $\bar{N}$ болельщиков. Учитывая, как уже отмечалось, достаточно плотное распределение их на одной из (обычно торцевых) трибун, имеет физический смысл ввести, как понятие, геометрический центр излучения т. 0, при общей ненаправленности их звуковых потоков, т. е. $\bar{\Omega}_N \cong 1$. При этом общая средняя мощность излучения составляет $\bar{P}_{\Sigma \bar{N}} = \bar{N} \bar{P}_{\bar{N}}$, где $\bar{P}_{\bar{N}}$ — средняя мощность излучения возгласов одного болельщика, которая, в соответствии с известными справочными данными, равна $\cong 2 \times 10^{-3}$ Вт [8]. Таким образом, можно принять среднюю мощность излучения, как:

$$\bar{P}_{\Sigma \bar{N}} = 0,02 \cdot \bar{N} \text{ (Вт)},$$

а среднюю интенсивность:

$$\bar{I}_{\bar{N}} = \frac{\bar{P}_{\Sigma \bar{N}}}{\bar{S}_{\bar{N}}}$$

и среднюю плотность звукоизлучения прямого звука:

$$\varepsilon_0 = \bar{\varepsilon}_{\bar{N}} = \frac{\bar{I}_{\bar{N}}}{c}, \quad (4)$$

где $\bar{S}_{\bar{N}}$ — средняя плотность размещения группы болельщиков.

Отсюда следует, что средний уровень звукоизлучения прямого звука фанатских групп болельщиков составляет:

$$\bar{L}_0 = 10 \lg \frac{\bar{\varepsilon}_{\bar{N}}}{\varepsilon_{\text{пор}}}, \quad (5)$$

где $\varepsilon_{\text{пор}} = 3 \times 10^{-15}$ Дж/м³ — уровень порогового значения плотности звуковой энергии.

Учитывая, что параметр FSI по некоторым физическим признакам является косвенным аналогом известного критерия разборчивости речи, то, как и для его оценки, представляется правильным ввести необходимые и достаточные условия оптимизации передачи информации с помощью этого критерия [9]. При этом, учитывая специфику обстановки фанатских звучаний, необходимым условием здесь логично, как и при экспресс-оценке разборчивости речи, считать дифференцированное по точкам наблюдений отношение сигнал/шум [9], а само текущее значение параметра FSI — показателем степени оптимизации его достаточных условий.

Исходя из данного представления для анализа соотношения уровней прямого звука и рассеянного звукового поля, в отдельных зонах СЗС показательным критерием является предложенный В.В. Фурдеевым параметр — акустическое отношение, физическая сущность которого ясна из формулы [7]:

$$R_i = \frac{\varepsilon_{\text{диф}}}{\varepsilon_{\text{пр}i}}, \quad R_i = \Pi \cdot r_i^2,$$

где $\Pi = \frac{16\pi}{B}$ — параметр помещения. (6)

В соответствии с той же теорией, пороговым расстоянием начала прогрессивного расчета величины FSI следует считать так называемый радиус гулкости r_0 , определяемый как расстояние от акустического центра источника звука до отметки, при которой, в условиях идеально диффузного поля, $\varepsilon_{\text{диф}} = \varepsilon_{\text{пр}}$, откуда [10]:

$$r_0 = 0,35\sqrt{B}. \quad (7)$$

Таким образом, представляется правильным вести точки расчетов (и измерений в натурных условиях) параметра FSI в крупных СЗС по следующей прогрессии:

$$r_0, 2r_0, 4r_0, \dots, \text{т. е. } r_i = 2r_{i-1} \quad (i = 1, 2, 3, \dots).$$

Следовательно, сопоставляя формулы (2–3) и (5–7), получается:

$$\varepsilon_i = \varepsilon_{\text{пр}i}(1 + R_i) = \varepsilon_{\text{пр}i}(1 + \Pi r_i^2). \quad (8)$$

Исходя из последних выражений можно сделать достаточно простой вывод формулы прогрессивного расчета параметра FSI при помощи следующего соотношения:

$$\varepsilon_i / \varepsilon_{i+1} = \frac{\varepsilon_{\text{пр}i}}{\varepsilon_{\text{пр}i+1}} \cdot \frac{(1 + \Pi r_i^2)}{(1 + \Pi r_{i+1}^2)} = 4 \cdot \frac{(1 + \Pi r_i^2)}{(1 + 4\Pi r_i^2)} = 4 \cdot \frac{(\Pi + 1/r_i^2)}{(4\Pi + 1/r_i^2)}. \quad (9)$$

Далее, при переходе к уровням звука:

$$10 \lg\{\varepsilon_i / \varepsilon_{i+1}\} = 6 + 10 \lg\left\{\frac{(\Pi + 1/r_i^2)}{(4\Pi + 1/r_i^2)}\right\}, \quad (10)$$

что позволяет, возвращаясь к исходной формуле для FSI (1), определить ее величину, как:

$$FSI_i = -10 \lg\left\{\frac{(\Pi + 1/r_i^2)}{(4\Pi + 1/r_i^2)}\right\} = 10 \lg\left\{\frac{(4\Pi + 1/r_i^2)}{(\Pi + 1/r_i^2)}\right\}. \quad (11)$$

Для оценки границ этого параметра введем следующие условия (см. также формулу (6)):

$$\Pi = \frac{16\pi}{B} \gg 1/r_i^2, \text{ откуда } 16\Pi r_i^2 \gg B \text{ и } FSI_{\text{max}} \cong 10 \lg 4 = 6$$

$$\Pi \ll 1/r_i^2, \text{ откуда } 16\Pi r_i^2 \ll B \text{ и } FSI_{\text{min}} \cong 10 \lg 1 = 0 \text{ дБ. (12)}$$

Таким образом, первое приближение соответствует, благодаря хорошей диффузности поверхностей СЗС, максимально удаленной поддержке FSI , а второе, при эффективном заглушении трибунных ограждений, ведет к быстрой потере звуковой энергии фанатских речевек.

Принимая выводы по формулам (10–12) как достаточные для оптимизации параметра FSI , в качестве необходимых, как отмечалось ранее, следует принимать минимально допустимые значения отношения сигнал/шум во всех расчетных точках в соответствии с рядом, принятым при расчете формулы (8). При этом следует признать логичным вести проверку этого отношения, для упрощения контрольных расчетов, только по уровням прямого звука $L_{\text{пр}i}(r_i)$ на том основании, что при проектировании шумозащитных мероприятий в СЗС в качестве источников шума, в основном, принимаются различные технические системы (системы вентиляции и кондиционирования) и шум улицы (транспортный поток), тогда как реальный шумовой фон, особенно при проведении крупных зрелищных и спортивных мероприятий, обуславливается звуковой обстановкой зрительской массы (шум толпы по терминологии [2]), который, как правило, существенно превышает шум инженерного оборудования и шум улицы. Таким образом, вводя упрощенный расчет допустимых шагов анализа r_i только по прямому звуку, имеется некоторый запас прибавки уровней полезного сигнала на диффузную составляющую звукового поля. В любом случае, необходимо понимать, что все представленные здесь расчетные процедуры проводятся на начальном этапе акустического проектирования соответствующего СЗС с целью оптимизации выбора его основной архитектурно-планировочной и строительно-акустической концепции путем сравнительного анализа различных объемно-планировочных решений, т.е. с одинаковой погрешностью всех проводи-

Сопоставление значений индекса FSI из компьютерного и аналитического расчета
Comparison of FSI index values from computer and analytical calculation

Стадион	Значение индекса FSI , дБ	
	Компьютерная модель	Аналитическая модель
Стадион Калининград (прямоугольная форма)	1,9	2,3
Волгоград арена (овальная форма)	2,5	2,6
Самара арена (круглая форма)	3,7	3,2

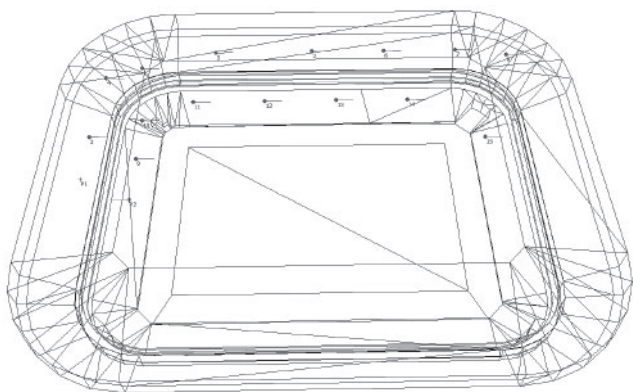


Рис. 1. Компьютерная модель и фотография стадиона Калининград (прямоугольная форма в плане)
Fig. 1. Computer model and photograph of the Kaliningrad stadium (rectangular in plan)

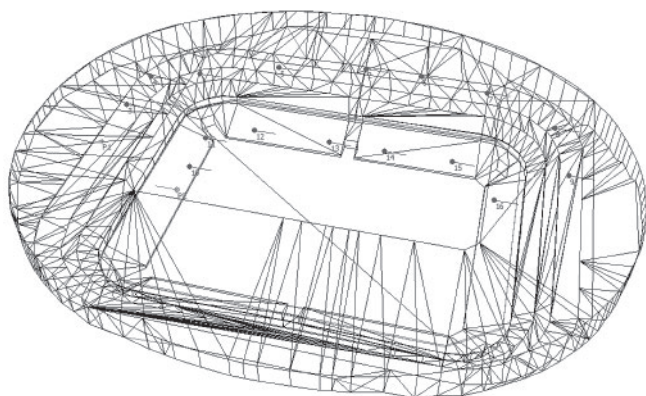


Рис. 2. Компьютерная модель и фотография Волгоград арены (овальная форма в плане)
Fig. 2. Computer model and photograph of the Volgograd arena (oval in plan)

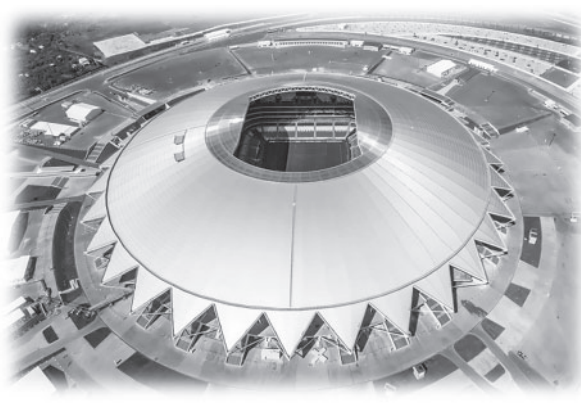
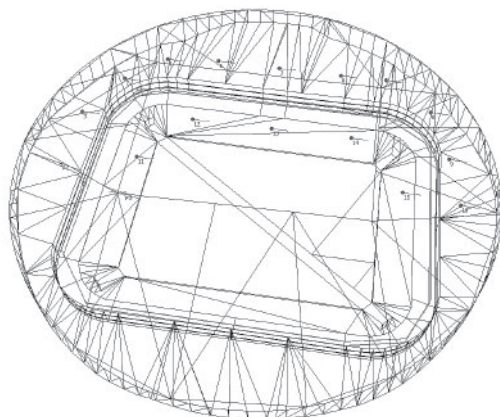


Рис. 3. Компьютерная модель и фотография Самара арены (круглая форма в плане)
Fig. 3. Computer model and photograph of the Samara arena (round shape in plan)

мых расчетных операций. Отсюда, для обоснования максимально допустимого выбора расчетных точек i_{max} можно воспользоваться неравенством:

$$L_{pri_{max}} - 6i_{max} \geq L_{шн} + 20 \text{ дБ}, \quad (13)$$

где $L_{шн}$ — нормативные уровни шума, аппроксимированные по всему диапазону звуковых частот [4]; откуда следует, что:

$$[i_{max}] = \frac{L_{pri_{max}} - (L_{шн} + 20)}{6} \text{ дБ}. \quad (14)$$

При этом очевидно, что значения i_{max} должны округляться до целых величин, а величина 20 дБ взята из известного соотношения среднего динамического диапазона речевых сигналов $2D \geq 20$ дБ [8].

Особое внимание следует обратить на частотную зависимость параметра FSI от связанных с

ним характеристик, и, в первую очередь, от постоянной помещения B и спектральной плотности мощности излучаемого сигнала $\bar{P}_\Sigma$. Однако, учитывая, что по данным ряда источников, см., например, [11], основное формантное распределение плотности излучения форсированной речи находится в пределах 100–1000 Гц, представляется правильным привязать все расчеты FSI к диапазону средних частот, а конкретно, в соответствии с известной методологией акустических расчетов, к полосам октавных частот со средне-геометрическими частотами 500–1000 Гц, [4, 10, 12].

Сравнение результатов расчета индекса FSI , полученных в компьютерной и аналитической моделях

Расчет значений индекса FSI по рассмотренной методике был выполнен для трех футбольных стадионов различной формы: стадион Калининград (в плане чаша стадиона имеет прямоугольную форму), Волгоград арена (в плане чаша стадиона имеет овальную форму) и Самара арена (в плане чаша стадиона имеет круглую форму).

Для этих же стадионов были получены значения индекса FSI в компьютерной математической модели в рамках исследования [1]. В план исследования входила имитация обычного положения фанатской группы на трибуне за воротами и регистрация уровня излучаемого ею звука вдоль остальных трибун 1 яруса. Уровень излучения фанатской группы имитировался мощным широкополосным источником звука. Расчет звука в контрольных точках приема производился в диапазоне средних частот (500 и 1000 Гц) как наиболее близкому к реальному процессу слухового восприятия при нормальном динамическом диапазоне восприятия звукового сигнала.

Результаты компьютерных расчетов [1] и данные соответствующих аналитических расчетов по формулам (6–11) приведены в таблице.

На рис. 1–3 представлены компьютерные модели и фотографии рассматриваемых стадионов – стадиона Калининград, Волгоград арены и Самара арены, соответственно.

Сравнительный анализ данных компьютерного и аналитического расчетов показывает, прежде всего, физическую обоснованность вывода параметра FSI как объективного аналога процесса субъективно-слухового восприятия в качестве соответствия его степени понимания окружающими передаваемой фанатскими группами информации. Несмотря на некоторые отличия в цифровых величинах, данные аналитического расчета и компьютерного моделирования соответствуют общей тенденции влияния формы стадиона на индекс фанатской поддержки и иллюстрируют степень возрастания его при переходе от прямоугольной формы стадиона в плане к круглой форме.

Выводы

1. В работе представлен упрощенный метод расчета индекса фанатской поддержки FSI , позволяющий специалистам, не владеющим специальным компьютерным обеспечением по математическому моделированию акустики помещений провести сравнительную оценку поддержки этого параметра звуковыми полями, создаваемыми при различных конфигурациях объемно-планировочных решений крупных СЗС, в первую очередь, их формы в плане;

2. Сравнительные расчеты параметра FSI будут полезны на начальных этапах акустического проектирования СЗС, особенно в плане выбора основной архитектурной концепции, формы и габаритов ограждений соответствующего объекта. Важно при этом отметить, что по физическому смыслу параметр FSI достаточно тесно коррелирован с характеристиками диффузности звуковых полей [7, 10], что подчеркивает целесообразность проведения его расчетов, позволяющих количественно оценить степень акустической эффективности основных ограждений соответствующих СЗС;

3. Параметр FSI может быть включен в общий алгоритм акустического проектирования СЗС, разработанный на основе развития методологии [4], по которому первоначальный этап оптимального выбора объемно-планировочного решения будущего СЗС, формы и конструкций его ограждений производится графо-аналитическими методами, с расчетами времени реверберации, мероприятий по обеспечению диффузности звукового поля, защите здания СЗС от шумовых воздействий и др. При этом сама последовательность расчетных операций по определению сравнительных значений параметра FSI достаточно ясна из сопоставления сводки формул (4–14);

4. В соответствии с методологией настоящей работы и данными сравнительных расчетов параметра FSI , полученными при компьютерном и аналитическом расчете звуковых полей стадионов различной формы в плане, могут быть введены следующие градации классов качества данного параметра: отлично – более 4 дБ, хорошо – от 3 до 4 дБ, удовлетворительно – от 2 до 3 дБ и плохо – менее 2 дБ. Естественно, что, как изложенный в настоящей работе последовательный метод сравнительных расчетов параметра FSI , так и градации его оценки нуждаются в контрольных расчетах на различных СЗС, а также в проверке с помощью натуральных измерений на реально действующих объектах.

Список литературы

1. Peretokin A., Livshits A., Orlov A., Shirgina N. Acoustics features of sports facilities on the example of FIFA 2018 football stadiums in Russia. *Proceedings of*

References

1. Peretokin A., Livshits A., Orlov A., Shirgina N. Acoustics features of sports facilities on the example of FIFA 2018 football stadiums in Russia. *Proceedings of*

- the 23rd International Congress on Acoustics*. 9–13 September 2019. Aachen, Germany.
2. Barnard A., Hambric S. Evaluation of crowd noise in Beaver Stadium during Penn State football games. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2010. Vol. 127. Iss. 3. <https://doi.org/10.1121/1.3383777>
 3. Valmont E., Wilkinson M., Thomas A. Stadia acoustic atmosphere and spectator experience: Quantifying crowd noise with architectural form. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2016. Vol. 140. Iss. 4. <https://doi.org/10.1121/1.4970463>
 4. СП 415.1325800.2018 Здания общественные. Правила акустического проектирования. М.: Стандартинформ, 2019.
 5. Щиржецкий Х.А., Сухов В.Н. Проблематика акустического проектирования спортивно-зрелищных залов различного объема и вместимости // *БСТ*. 2017. № 6. С. 26–28.
 6. Щиржецкий Х.А., Сухов В.Н., Щиржецкий А.Х., Алёшкин В.М. К проблеме акустического проектирования современных залов многоцелевого назначения // *Жилищное строительство*. 2019. № 7. С. 16–24. DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-16-24>
 7. Фурдуев В.В. Акустические основы вещания. М.: Книга по Требованию, 2013. 319 с.
 8. Анерт В., Штеффн Ф. Техника звукоусиления. М.: ООО «ПКФ Леруша», 2003. 416 с.
 9. Щиржецкий Х.А. Экспресс-оценка зон разборчивости речи в помещениях. *Сборник трудов научно-технического семинара в г. Севастополе*. 2012.
 10. Макриненко Л.И. Акустика помещений общественных зданий. М.: Стройиздат, 1986. 173 с.
 11. Вахитов Я.Ш. Слух и речь. Л.: ЛИКИ, 1973. 110 с.
 12. Фурдуев В.В. Электроакустика. М.-Л.: Госуд. изд. техн.-теорет. литературы, 1948. 516 с.
 - the 23rd International Congress on Acoustics*. 9–13 September 2019. Aachen, Germany.
 2. Barnard A., Hambric S. Evaluation of crowd noise in Beaver Stadium during Penn State football games. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2010. Vol. 127. Iss. 3. <https://doi.org/10.1121/1.3383777>
 3. Valmont E., Wilkinson M., Thomas A. Stadia acoustic atmosphere and spectator experience: Quantifying crowd noise with architectural form. *The Journal of the Acoustical Society of America*. 2016. Vol. 140. Iss. 4. <https://doi.org/10.1121/1.4970463>
 4. Code of Practice 415.1325800.2018 Public buildings. Acoustic design rules. Moscow: Standartinform. 2019. (In Russian).
 5. Shchirzhetsky Kh.A., Sukhov V.N. Problems of acoustic design of sports and entertainment halls of various sizes and capacities. *BST*. 2017. No. 6, pp. 26–28.
 6. Shchirzhetskii Kh.A., Soukhov V.N., Shchirzhetskii A.Kh., Aleshkin V.M. On the problem of acoustic design of modern multipurpose halls. *Zhilishchnoe Stroitel'stvo* [Housing Construction]. 2019. No. 7, pp. 16–24. (In Russian). DOI: <https://doi.org/10.31659/0044-4472-2019-7-16-24>
 7. Furduev V.V. Akusticheskiye osnovy veshchaniya [Acoustic foundations of broadcasting]. Moscow: Kniga po Trebovaniyu. 2013. 319 p.
 8. Anert V., Shteffn F. Tekhnika zvukousileniya [Sound amplification technique]. Moscow: PKF Lerusha LLC. 2003. 416 p.
 9. Shchirzhetsky H.A. Express assessment of speech intelligibility zones in rooms. *Collection of works of scientific and technical seminar in Sevastopol*. 2012.
 10. Makrinenko L.I. Akustika pomeshcheniy obshchestvennykh zdaniy [Acoustics of public buildings]. Moscow: Stroyizdat. 1986. 173 p.
 11. Vakhitov Ya.Shch. Slukh i rech' [Hearing and speech] Leningrad: LIKI, 1973. 110 p.
 12. Furduev V.V. Elektroakustika [Electroacoustics]. Moscow-Leningrad: State publishing house of technical and theoretical literature. 1948. 516 p.