

Рис.4. Равенство интенсивности воспроизведения левого ГГ относительно правого ГГ. АЧХ-L – уровень сигнала левого канала АС; АЧХ-R - уровень сигнала правого канала АС

Аналогичным путём выполняется измерение АЧХ ГГ для каждой из полос частот. Выбор тестовых сигналов для левого и правого ГГ осуществляется в диапазоне  $\frac{1}{4}$  октавы для каждой из полос частот, что минимизирует влияние гармонических искажений.

#### Выводы

В результате проведенных экспериментов было установлено, что расположение оптимальной зоны прослушивания относительно центра стерео базы не гарантирует совпадения с кажущимся источником звука. Это связано с различием интенсивностных характеристик левого и правого громкоговорителя относительно друг

УДК 534.864

## АКУСТИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СТАДИОНА «МЕТАЛЛИСТ»

К.т.н. В.В. Усик, И.И. Модянова, Национальный технический университет «ХПИ», г.Харьков

*Проводится моделирование звукового поля стадиона «Металлист» с целью оценки проектных решений существующей системы озвучивания.*

*Проводиться моделювання звукового поля стадіону «Металіст» з метою оцінки проектних рішень існуючої системи озвучення.*

*We conducted a simulation of the sound field of the stadium «Metalist» to assess design solutions existing sound system.*

**Ключевые слова:** акустический расчет, система озвучивания, стадион.

#### Введение

На сегодняшний день к особенностям озвучивания открытых пространств относится необходимость учета затухания звука в воздухе. Неравномерный нагрев поверхности земли, ветер, туман, осадки могут привести к искажению траектории звуковых лучей и нарушению звукопередачи.

Система озвучивания - это комплекс оборудования, который обеспечивает трансляцию звука и голосовых сообщений в помещениях различного назначения.

Для открытых пространств, как правило, применяют сосредоточенную и зональную системы

друга, а также различий в диаграмме направленности диффузоров.

Использование стерео микрофона даёт возможность определить оптимальную зону прослушивания, которая соответствует верному расположению КИЗ в пространстве относительно слушателя.

Авторами ведется дальнейшая работа в изучении интенсивностной и временной стереофонии, разработка автоматизированной системы по корректировке местоположения КИЗ в пространстве.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Алдошина И. А. *Электроакустика и звуковое вещание: Учебное пособие для вузов [Текст] / И. А. Алдошина, Э. И. Вологдин, А. П. Ефимов и др.; под ред. Ю. А. Ковалгина. – М.: Горячая линия-Телеком, Радио и связь, 2007. – 872 с.*
2. Кононович Л. М. *Стереофоническое восприятие звука [Текст] / Л. М. Кононович, Ю. А. Ковалгин. – М.: Радио и связь, 1981. – 184 с.*
3. Алдошина, И. А. *Высококачественные акустические системы и излучатели [Текст] / И. А. Алдошина, А. Г. Войшвилло. – М.: Радио и связь, 1985. – 168 с.*
4. Алябьев, С. И. *Радиовещание и электроакустика [Текст] / С.И.Алябьев, А.В.Выходец, Р. Гермер и др. – М.: Радио и связь, 1998. – 783 с.*
5. Виноградова, Э. Л. *Конструирование громкоговорителей со сглаженными частотными характеристиками [Текст] / Э. Л. Виноградова. – М.: Энергия, 1978. – 48 с.*
6. Owsinski, B. *The mixing engineer's handbook, Second Edition [Text] / B. Owsinski. – Thomson Course Technology, 2006. – 290 с.*

озвучивания. Значительно реже, для получения высокого качества, на небольших площадках используют распределенную систему.

#### Актуальность исследований

Система озвучивания имеет очень большое значение для спортивного объекта. С ее помощью делают объявления, передают фоновую музыку, во время проведения международных матчей транслируют национальные гимны. Наличие качественной звуковой системы на современном спортивном комплексе является необходимым условием его эффективного функционирования.

Современная арена - это не только поле и трибуны, но и подтрибунные помещения, раздевалки для команд и судей, коридоры, рестораны, бары, магазины, пресс-центр, конференц-залы, парковка, прилегающая территория и многое другое. Конечно, не везде нужен звук высокого качества, но в целях безопасности, система оповещения должна обеспечивать передачу речи с хорошей разборчивостью везде, где могут находиться люди.

Спортивные арены часто становятся местом проведения музыкальных концертов. Создание зрелища, после которого человеку еще не раз захочется прийти именно на этот стадион, очень сложная задача. Такую

## Технология приборостроения

меру невозможно создать без звукового оформления, которое должно обеспечивать качественный звук на каждом зрительском месте.

### Формулирование цели и постановка задачи

Целью данной работы является проведение акустической экспертизы стадиона «Металлист», г.Харьков.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) провести выбор программного обеспечения, используемого для акустического моделирования;
- 2) провести выбор объективных критериев оценки ясности в помещении;
- 3) провести моделирование стадиона «Металлист» в программном пакете EASE 4.3;
- 4) провести анализ существующей системы озвучивания;
- 5) провести анализ, полученных в результате моделирования показателей ясности на стадионе «Металлист».

### Акустическая экспертиза стадиона «Металлист»

Для достижения поставленной цели и решаемых в связи с ней задач для моделирования стадиона «Металлист» и экспертизы проектных решений был использован программный пакет EASE 4.3.

EASE является профессиональным инструментом для расчета способов размещения громкоговорителей и акустической обработки помещений на этапе разработки архитектурного проекта.

Программный пакет EASE содержит комплект стандартных помещений, которые применяются в строительстве и архитектуре: театр, стадион, церковь и т.д., которые перекрывают большинство существующих видов помещений с разными формами (купол, амфитеатр и т.д.).

Программный пакет позволяет использовать не только стандартные модели помещений, но и построить модель самостоятельно. EASE способна полноценно работать с моделями помещений, состоящих из более чем 1200 поверхностей, но, как правило, даже сложная модель хорошо описывается 300 поверхностями [1].

С помощью пакета EASE 4.3 можно получить такие объективные качественные критерии, как:

- 1) показатель прямого звука  $C_7$ ;
- 2) показатель речевой ясности  $C_{50}$ ;
- 3) показатель музыкальной ясности  $C_{80}$ .

Уровень прямого звука  $C_7$  отображает звуковые компоненты энергии прямого звука по отношению к звуковой энергии отражений и реверберации, прибывающих после прямого звука на место слушателя. Показатель  $C_7$  - критерий субъективного восприятия «близости» или «непосредственности» источников звука (певцов, оркестра, солистов).

Показатель  $C_{50}$  относится к речевой разборчивости. Для определения показателя  $C_{50}$  не существует четких нормативных правил акустики помещения. Отношение между речевой ясностью и определением показателя  $C_{50}$  дает оценку, согласно которой  $C_{50}$  должен быть  $\geq -2$  дБ [2]. Это помогает избежать уменьшения ясности речи

ниже 80%. Ясность фразы (текстовая ясность), благодаря контексту выше, чем ясность слога, и составляет 95%. Значение  $C_{50} = -2$  дБ считается нижней допустимой границей для хорошей речевой или текстовой ясности.

Показатель ясности  $C_{80}$  важен для временной ясности музыкальных произведений, особенно для быстрых музыкальных отрывков.

Субъективная оценка ясности  $C_{80}$  основывается на исследованиях Абдель Алима [2], согласно которым достаточная музыкальная ясность должна быть получена при следующих значениях:

- 1)  $C_{80} \geq -1,6$  дБ для классической музыки (Моцарта, Гайдна);
- 2)  $C_{80} \geq -4,6$  дБ для романтической музыки (Брамс, Вагнер);
- 3)  $C_{80} \geq -3$  дБ для приемлемого звучания музыки различных направлений.

Дополнительные показатели разборчивости, получаемые в EASE 4.3:

- 1) ALcons (percentage Articulation Loss of Consonants) - процент артикуляционных потерь согласных;
- 2) STI (speech transmission index) - индекс передачи речи;
- 3) RASTI (rapid speech transmission index) - индекс передачи быстрой речи.

$Al_{cons}$  - это альтернативный показатель объективной оценки речевой ясности в помещении или для систем звукоусиления. Для оценки разборчивости вычисляется процент потери согласных, которые в основном и определяют смысловое содержание речи. Чем больше этот процент, тем хуже разборчивость речи в помещении. Максимально допустимое значение - 10% (при условии, что помещение относительно свободное от маскирующего шума). Для помещений, используемых в учебных целях и для систем оповещения, он должен составлять не более 5%.

Идея метода расчета индекса передачи речи (STI) заключается в том, что речевой сигнал представляет собой свертку импульсной характеристики звукового сигнала источника (для гласных звуков это импульсный сигнал с почти гармоническим спектром, для согласных это шумовой сигнал различной формы) с импульсной характеристикой голосового тракта [3]. Речевой сигнал можно приблизительно рассматривать как некоторый широкополосный сигнал (с полосой 125-8000 Гц), модулированный другим сигналом с низкой частотой. Частота модуляции определяется скоростью, с которой человек произносит форманты (скоростью артикуляции). Эксперименты показали, что частоты модуляции в обычной речи находятся в диапазоне от 0,63 до 16 кГц, причем наиболее вероятные частоты модуляции находятся в области 5 ... 7 кГц [2]. Для вычисления используются частоты модуляции от 0.63 Гц до 12.5 кГц в третьих октавах.

Поскольку расчет разборчивости вышеуказанным методом представляет собой достаточно трудоемкую процедуру, фирмой Bruel & Kjaer был разработан альтернативный упрощенный метод RASTI, предусматривающий измерение только в двух октавных полосах 500 Гц при частотах модуляции 1,02 / 2,03 / 4,07 /

8, 14 кГц, а также 2 кГц при частотах модуляции 0,73 / 1,45 / 2,90 / 5,81 / 11,63 кГц [4].

Важно отметить, что именно эти критерии представляют собой проблему для акустики стадиона.

С помощью соответствующих чертежей стадиона «Металлист» была создана модель стадиона в программном пакете EASE 4.3.

Каждой плоскости был присвоен соответствующий материал.

Использованы следующие материалы:

- 1) бетон (CONCRETE S);
- 2) пластик (plastic);
- 3) трава (GRASS);
- 4) стекло (MIRROR);
- 5) штукатурка (PLAST / LTHR).

Были введены зоны прослушивания. Область прослушивания - это область, которая находится в местах прослушивания на высоте 1,2 м от пола (на высоте уха сидящего человека). Модель стадиона с зонами прослушивания изображена на рисунке 1.

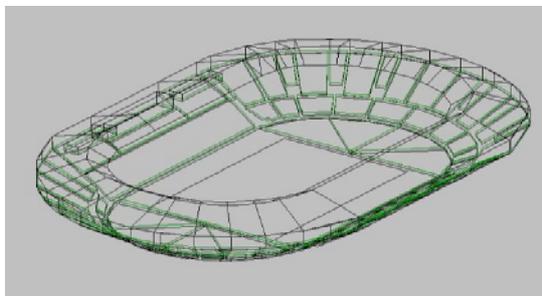


Рис.1. Модель стадиона с зонами прослушивания

Для достижения качественного озвучивания в чаше стадиона были использованы следующие громкоговорители фирмы BOSE Parana LT:

- 1) Bose LT MB24;
- 2) Bose LT 9402;
- 3) Bose LT 4402;
- 4) Bose LT 9702;
- 5) Bose LT 9400;
- 6) Bose LT 6400.

Всего было использовано 93 звуковых кластера. В чаше стадиона используются 7 типов кластеров:

1) кластер из трех сабвуферов Bose LT MB24 (всего 22 кластера, расположенных равномерно под крышей стадиона);

2) кластер из громкоговорителя Bose LT 9402, направленного на верхние ряды стадиона и громкоговорителя Bose LT 4402, направленного на нижние ряды стадиона (всего 16 таких кластеров находятся под крышей стадиона на западе и востоке стадиона);

3) кластер из громкоговорителя Bose LT 9702, направленного на средние ряды стадиона и громкоговорителя Bose LT 4402, направленного на нижние ряды стадиона (всего 22 таких кластера находятся под крышей стадиона на севере и юге стадиона);

4) кластер из громкоговорителя Bose LT 9400, направленного на верхние ряды стадиона (всего 16 таких

кластеров находятся под крышей стадиона на севере и юге стадиона);

5) кластер из громкоговорителя Bose LT 6400, направленного на верхние ряды стадиона (всего 16 таких кластеров находятся под крышей стадиона на севере и юге стадиона);

6) кластер из громкоговорителя Bose LT 4402, направленного на нижние ряды стадиона (всего 1 такой кластер находится под крышей стадиона на севере стадиона);

7) кластер из громкоговорителя Bose LT 9702, направленного на средние ряды стадиона (всего 1 такой кластер находится под крышей стадиона на севере стадиона).

Модель стадиона «Металлист» с расположенным звуковым оборудованием представлена на рисунке 2.

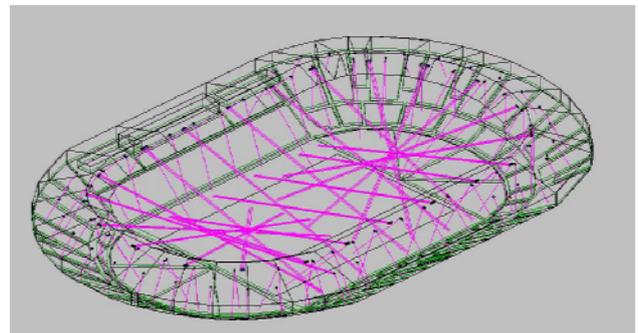


Рис.2. Модель стадиона «Металлист» с расположенным звуковым оборудованием

Минимальный процент артикуляционных потерь согласных составил 1%, а максимальный - 1,72%. Так как, для помещений, используемых в учебных целях и для оповещения, ALcons должен составлять не более 5%, полученный показатель означает, что на стадионе «Металлист» незначительный процент артикуляционных потерь согласных и идеальная речевая ясность. Результаты расчета процента артикуляционных потерь согласных предоставлены на рисунке 3. График процента артикуляционных потерь согласных в зоне прослушивания A1 предоставлен на рисунке 4.

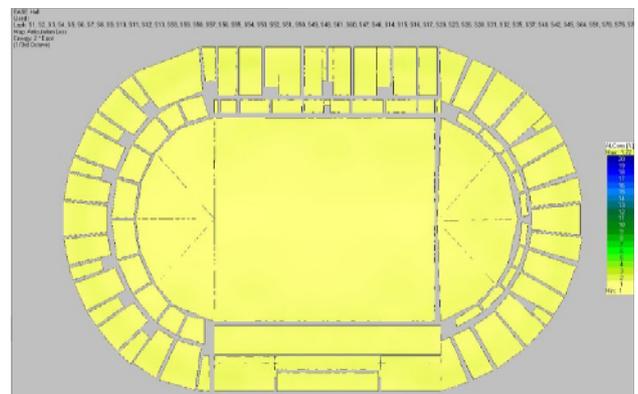
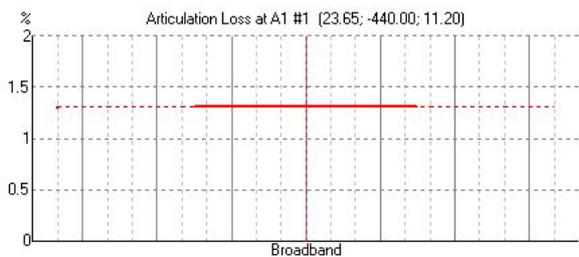


Рис.3 – Результаты расчета процента артикуляционных потерь согласных



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 08.06.2014 21:10:44 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. Iri

Рис.4. График процента артикуляционных потерь согласных

Минимальное значение индекса передачи речи составило 0,85, а максимальное - 0,95. Результат означает, что на стадионе «Металлист» отличная разборчивость речи. Результаты расчета индекса передачи речи предоставлены на рисунке 5. График индекса передачи речи в зоне прослушивания A1 предоставлен на рисунке 6.

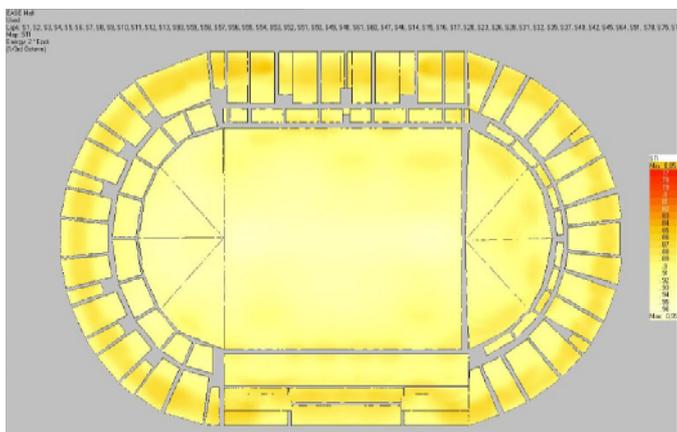
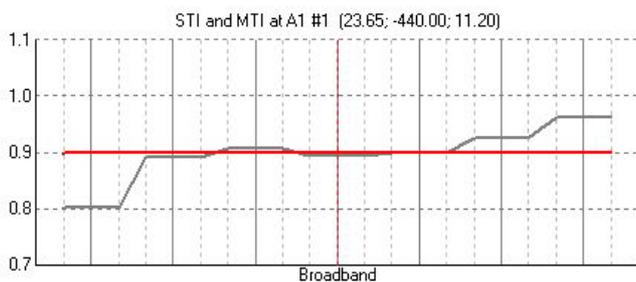


Рис.5. Результаты расчета индекса передачи речи



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 08.06.2014 21:08:27 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. Iri

Рис.6. График индекса передачи речи в зоне прослушивания A1

Минимальное значение индекса передачи быстрой речи составило 0,86, а максимальное - 0,98. Результат означает, что на стадионе «Металлист» отличная составляющая ясность и разборчивость речи. Результаты расчета быстрого индекса передачи речи предоставлены на рисунке 7. График быстрого индекса передачи речи в зоне прослушивания A1 предоставлен на рисунке 8.

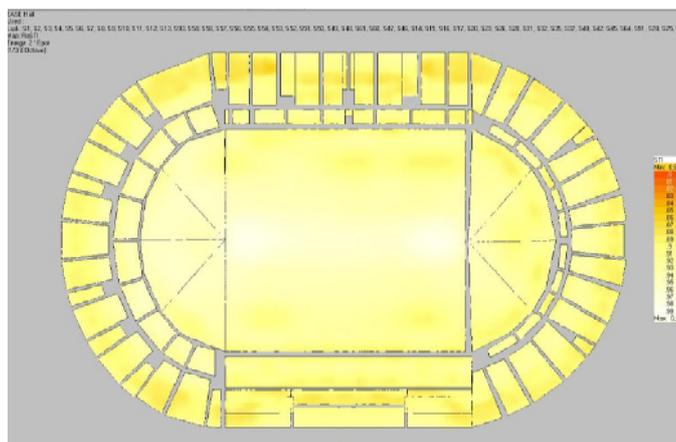
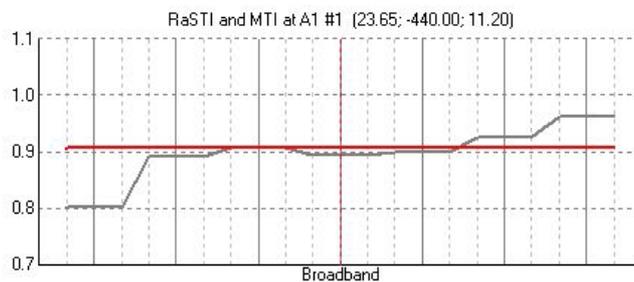


Рис.7. Результаты расчета индекса передачи быстрой речи



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 11.06.2014 15:23:54 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. Iri

Рис.8. График индекса передачи быстрой речи в зоне прослушивания A1

На нижних частотах (250 Гц) показатель прямого звука  $C_7$  составил от -25,1 дБ до -1,58 дБ. На средних частотах показатель прямого звука  $C_7$  составил от -29,1 дБ (1000 Гц) до 8,16 дБ (2000 Гц). На верхних частотах показатель прямого звука составил от -27,8 дБ до 9,38 дБ (4000 Гц). Результаты расчета показателя прямого звука  $C_7$  на частоте 1000 Гц предоставлены на рисунке 9. График показателя прямого звука  $C_7$  в зоне прослушивания A1 предоставлен на рисунке 10.

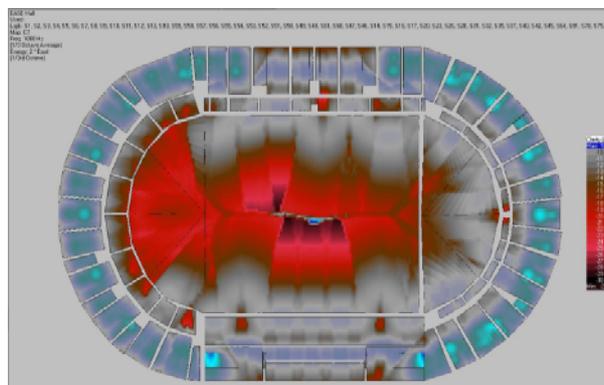


Рис.9. Результаты расчета показателя прямого звука  $C_7$  на частоте 1000 Гц



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 08.06.2014 21:03:15 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. Iri

Рис.10. График показателя прямого звука  $C_7$  в зоне прослушивания A1

На нижних частотах (250 Гц) речевая ясность составила от -18,2 дБ до 14,4 дБ. На средних частотах речевая ясность составила от -15,1 дБ (500 Гц) до 27,8 дБ (2000 Гц). На верхних частотах речевая ясность составила от -16,9 дБ до 30,4 дБ (4000 Гц). Результаты расчета показателя речевой ясности  $C_{50}$  на частоте 1000 Гц предоставлены на рисунке 11. График показателя речевой ясности  $C_{50}$  в зоне прослушивания A1 предоставлен на рисунке 12.

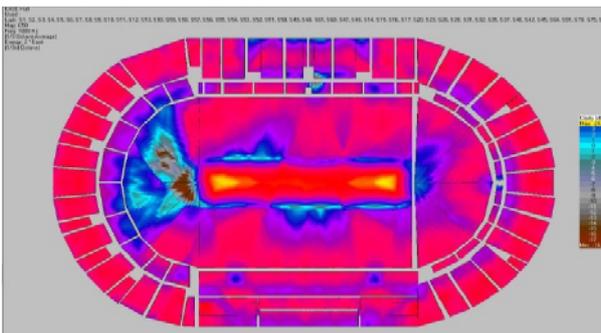


Рис. 11. Результаты расчета показателя речевой ясности  $C_{50}$  на частоте 1000 Гц



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 08.06.2014 20:57:24 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. Iri

Рис.12. График показателя речевой ясности  $C_{50}$  в зоне прослушивания A1

На нижних частотах (250 Гц) музыкальная ясность составила от 8 до 20,9 дБ. На средних частотах музыкальная ясность составила от 13,13 дБ (500 Гц) до 28,4 дБ (2000 Гц). На верхних частотах музыкальная ясность составила от 18,5 дБ до 33,8 дБ (4000 Гц). Результаты расчета показателя музыкальной ясности  $C_{80}$

на частоте 1000 Гц предоставлены на рисунке 13. График показателя музыкальной ясности  $C_{80}$  в зоне прослушивания A1 предоставлен на рисунке 14.

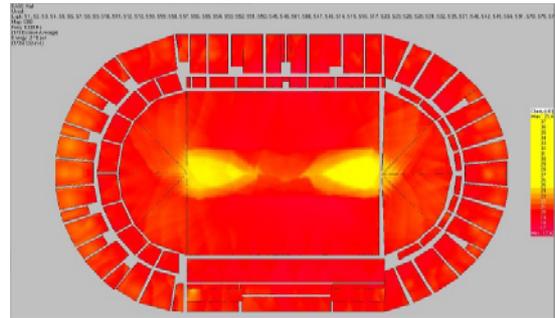


Рис. 13. Результаты расчета показателя музыкальной ясности  $C_{80}$  на частоте 1000 Гц



(c) EASE 4.3 / EASE Hall / 08.06.2014 21:14:06 / jolly Proaudio Broadcast Engineering Ltd. Iri

Рис.14. График показателя музыкальной ясности  $C_{80}$  в зоне прослушивания A1

### Выводы

Проанализировав все критерии прослушивания музыкальных выступлений, связанные с положением слушателя и источника звука на стадионе «Металлист», можно сделать вывод, что если принимать во внимание только зрительские места, то показатель ясности, показатель прямого звука и показатель музыкальной ясности имеют удовлетворительные и хорошие значения.

Однако, основной проблемой является показатели ясности около и на нижних рядах Северной трибуны.

Проблему можно избежать благодаря иному расположению кластеров, уменьшению их количества в чаше стадиона и использованию других типов громкоговорителей.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. <http://www.twirpx.com>
2. *Fundamentals to perform acoustical measurements/ Dr. W. Ahnert, Dr. W. Schmidt//Appendix to EASERA. – 2005. – P. 1-49p.*
3. *Алдошина И. Субъективные и объективные методы оценки разборчивости речи// Звукорежиссер. – 2002. – №8. – с.49-51.*
4. *EASERA Tutorial / Dr. W. Ahnert, Dr. W. Schmidt. – 2006. – 170 p.*