

УДК 534.864

УСИК В.В., к.т.н., доцент,  
МОДЯНОВА І.І., магістрант (НТУ "ХП")

## Використання пакету програм EASE 4.3 для моделювання акустики відкритих майданчиків

У статті наведений аналіз існуючого програмного забезпечення, що дозволяє проводити моделювання акустичного середовища відкритих майданчиків, проведено моделювання стадіону "Металіст" у програмному пакеті EASE 4.3, отримані частотні залежності показників мовної ясності при існуючій системі озвучення.  
**Ключові слова** акустична експертиза, система озвучування, критерії оцінки акустики.

### 1. Вступ

До особливостей озвучення відкритих просторів (за відсутності відображень) відноситься необхідність врахування загасання звуку в повітрі. Нерівномірне нагрівання поверхні землі, вітер, туман, опади можуть призвести до викривлення траєкторії звукових променів і порушення звукопередачі.

Система озвучення має дуже велике значення для спортивного об'єкта. З її допомогою роблять оголошення, передають фонову музику, під час проведення міжнародних матчів транслюють національні гімни. Наявність якісної звукової системи на сучасному спортивному комплексі є необхідною умовою його ефективного функціонування.

Сучасна арена – це не тільки поле і трибуни, а й підтрибунні приміщення, роздягальні для команд і суддів, коридори, ресторани, бари, магазини, прес-центр, конференц-зали, парковка, прилегла територія і багато іншого. Звичайно, не скрізь потрібен звук високої якості, але з метою безпеки, система оповіщення повинна забезпечувати передачу мови з хорошою розбірливістю всюди, де можуть перебувати люди.

Спортивні ариени часто стають місцем проведення музичних концертів. Створення видовища, після якого людині ще не раз захочеться прийти саме на цей стадіон, дуже складне завдання. Такий захід неможливо створити без звукового оформлення, яке повинно забезпечувати якісний звук на кожному глядацькому місці [1, 2, 3].

Тому важливе значення має методи не тільки акустичної експертизи, що проводяться після виконання проектів систем озвучування, але передпроектне моделювання, що дозволяє на перших стадія виявити проблемні зони прослуховування, провести аналіз об'єктивних критеріїв оцінки акустики. Таку можливість надають програмні пакети такі як CARA, CATT ACOUSTIC, OLIVE TREE LAB TERRAIN, MITHRA, EASE, BOSE MODELER.

### 2. Аналіз існуючих програмних засобів

Програмне забезпечення CARA (Computer Aided Room Acoustics) (рис. 1) являє собою програму для розрахунку та оптимізації акустики в приміщеннях довільної форми площею до 10 000 кв. м. [4]

Розрахункова частина програми складається з двох частин:

1) визначення основних акустичних характеристик приміщення з урахуванням параметрів всіх внутрішніх поверхонь (матеріал стін, кількість і розстановка меблів і т.п.);

2) автоматичне визначення оптимальних місць розміщення акустичних систем і слухачів з позиції зменшення впливу стоячих хвиль в приміщенні.

Для детального аналізу програма розраховує параметри звукового поля в 3000 точок, обраних в горизонтальній площині простору кімнати на заданій висоті.

Оціночні дані (результати розрахунків) звукового поля містять:

1) модальну структуру (розподіл звукового тиску в сталому стані);

2) частотний відгук приміщення;

3) розподіл фарбування звуку;

4) стереофонічну локалізацію звуку;

5) розбірливість мови.

Програмне забезпечення CATT ACOUSTIC – програмне забезпечення акустичного моделювання (рис. 2), засноване на методі трасування променів (тобто випромінювання звукової енергії з окремо взятого джерела уздовж променів з заданою щільністю, у відповідності з законами геометричної акустики) і на методі моделювання, званому Randomized Tailed Cone-tracing (RTC).

Програмне забезпечення CATT ACOUSTIC дозволяє охарактеризувати спрямованість джерела, звукопоглинальні властивості та поширення звуку для окремо взятих поверхонь, що визначають межі досліджуваного приміщення [5].

Аналізуючи окремо взяті звукові шляхи, програма обчислює кількість звукової енергії в кожній точці як тимчасову функцію, отримуючи акустичні параметри, що характеризують приміщення (SPL, RT, EDT, D50, C80, LF, STI, RASTI), які можуть бути представлені в графічному вигляді (кольорові карти) і у вигляді таблиць.



Рис. 1. Програмне забезпечення CARA (Computer Aided Room Acoustics)

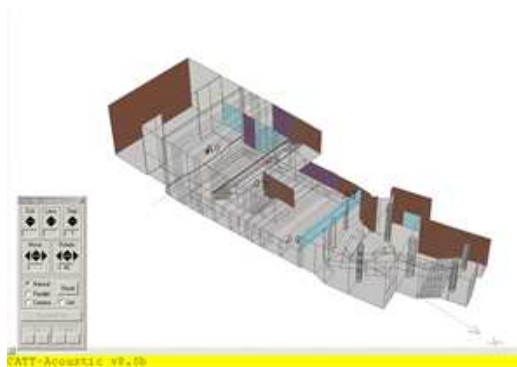


Рис. 2. Програмне забезпечення CATT ACOUSTIC

Програмне забезпечення OLIVE TREE LAB TERRAIN (рис. 3) використовується для акустики навколишнього середовища та архітектурної акустики.

Програмне забезпечення OLIVE TREE LAB TERRAIN являє собою програмне забезпечення прогнозування, яке може бути використане для проектування акустичних бар'єрів і для створення акустичних карт для проектів невеликих або середніх обсягів. Програма орієнтована на точність і простоту у використанні.

Програмне забезпечення OLIVE TREE LAB TERRAIN використовує оригінальний алгоритм, спрямований на точний опис явищ відображення і дифракції від джерела до приймача в тривимірному просторі.

Результати представлені у вигляді звукових рівнів в залежності від частоти або залежно від простору.

Програмне забезпечення MITHRA (01DB) – програмне забезпечення прогнозування (рис. 4),

призначене для моделювання поширення звуку. Програма розглядає найбільш важливі змінні, що мають відношення до об'єкту дослідження, такі як розташування будівель, топографія, акустичні бар'єри, тип ґрунту, метеорологічні явища, і т. п. [5].

Програмне забезпечення MITHRA (01DB) за допомогою вибору відповідних модулів, можна налаштувати на дорожній, залізничний, промисловий шум.

Програмне забезпечення MITHRA (01DB) використовує алгоритм, заснований на методі зворотного трасування променів, об'єднуючи ефекти дифракції із поглинальною здатністю ґрунту і акустичних бар'єрів, з інтеграцією в октавних смугах. Обчислювальна система інтегрує метод ISO 9613-2 і включає в себе метеорологічні параметри.

Програма являє собою кульмінацію 20-річних методологічних досліджень, проведених CSTB у Франції. Успішно використовується в офіційних лабораторіях і консалтингових компаніях у різних країнах, є орієнтиром для досліджень в області впливу на навколишнє середовище і для акустичного зонування.

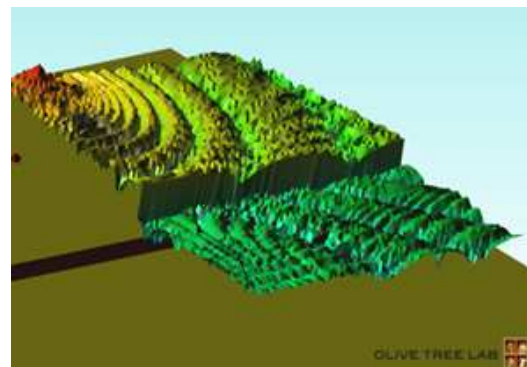


Рис. 3. Програмне забезпечення OLIVE TREE LAB TERRAIN

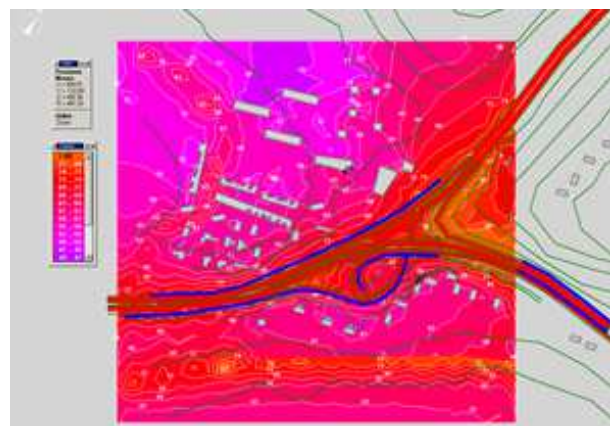


Рис. 4. Програмне забезпечення MITHRA (01DB)

Програмний пакет або пакет програм EASE є професійним інструментом для розрахунку способів розміщення гучномовців та акустичної обробки приміщень на етапі розробки архітектурного проекту (рис. 5) [4]. Програмний пакет EASE містить комплект стандартних приміщень, які застосовуються в будівництві та архітектурі: театр, стадіон, церква і т.д., які перекривають більшість існуючих видів приміщень з різними формами (купол, амфітеатр тощо).

Програмний пакет дозволяє використовувати не тільки стандартні моделі приміщень, але і побудувати модель самостійно. EASE здатна повноцінно працювати з моделями приміщень, що складаються з більш ніж 1200 поверхонь, але як правило навіть складна модель добре описується 300 поверхнями.

Програмний пакет дозволяє зробити розрахунок за основним електроакустичним характеристикам приміщення:

- 1) значення реверберації на різних частотах;
- 2) рівень звукового тиску прямого звуку Direct SPL;
- 3) рівень звукового тиску прямого і відбитого звуку Total SPL;
- 4) коефіцієнт розбірливості мови Rasti;
- 5) коефіцієнт втрати голосних  $AL_{cons}$ ;
- 6) коефіцієнти ясності (музичної, змішаної і мовної)  $C_{80}$ ,  $C_{50}$  і  $C_{7}$ ;
- 7) час приходу першої хвилі Arrival Time;
- 8) критичну відстань рівності звукової енергії прямої та відбитої хвилі Critical Distance;
- 9) рівень акустичного відношення D/R Ratio;
- 10) відображення ослаблення на 3,6 і 9 дБ Aiming;
- 11) досліджувати структури ревербераційного процесу;
- 12) проводити дослідження та налаштування ревербераційного процесу за допомогою графіків Шредера та щільності звукової енергії у приміщенні.

Програмне забезпечення BOSE MODELER аналізує і моделює всі параметри і є важливим інструментом аудіо дизайнера для створення аудіо системи в кожному конкретному випадку. За допомогою програми аудіоінженери можуть створювати точну акустичну модель, усунути небажані шуми, ехо, реверберацію і рівномірно розподілити звукове поле.

За допомогою програмного забезпечення Modeler (рис. 6) можна розташувати акустичні системи точної архітектурної моделі приміщення будь-якого розміру і форми. Використовуючи цей інструмент, можна направити окремі акустичні системи або портали, групувати системи або розбивати. За допомогою даної системи можна переміщати акустичні системи, вклучати і вимикати, подавати різне посилення і навіть встановлювати затримки.

Програмне забезпечення враховує акустичні особливості будівельних матеріалів, які

використовувалися для будівництва даного об'єкта, і автоматично враховує коефіцієнт поглинання звуку з допомогою механізму RT 60. Інтуїтивний інтерфейс враховує такі параметри як фоновий шум і вводить ці дані в акустичну модель. Програмне забезпечення Modeler використовується для моделювання звуку як в існуючих будівлях, так і у ще незбудованих, використовуючи архітектурні креслення.

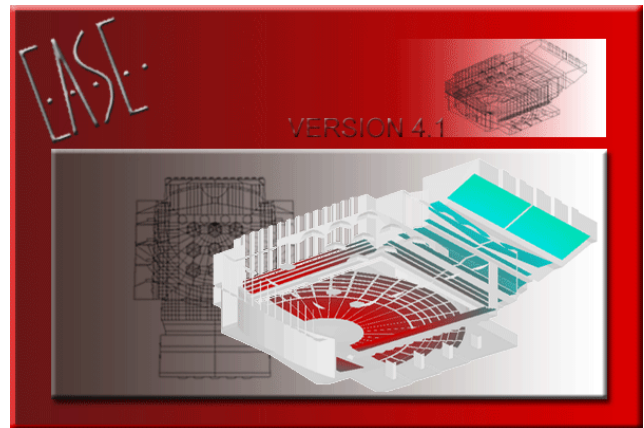


Рис. 5. Програмний пакет або пакет програм EASE



Рис. 6. Програмне забезпечення BOSE MODELER

Для моделювання стадіону було обраний програмний пакет Ease тому, що він дозволяє отримати частотну залежність важливих для експертизи мовної ясності акустичних критеріїв, таких як:

- 1) показник прямого звуку  $C_7$ ;
- 2) показник мовної ясності  $C_{50}$ ;
- 3) показник музичної ясності  $C_{80}$ ;
- 4)  $AL_{cons}$  (percentage Articulation Loss of Consonants) – відсоток артикуляційних втрат приголосних;
- 5) STI (speech transmission index) – індекс передачі мови;
- 6) RASTI (rapid speech transmission index) – індекс передачі швидкої мови.

Важливо зазначити, що саме ці критерії являють собою проблему для акустики стадіону на теперішній час.

### 3. Моделювання стадіону

За допомогою відповідних креслень стадіону «Металіст» була створена модель стадіону у програмному пакеті EASE 4.3 (рис. 7) [1].

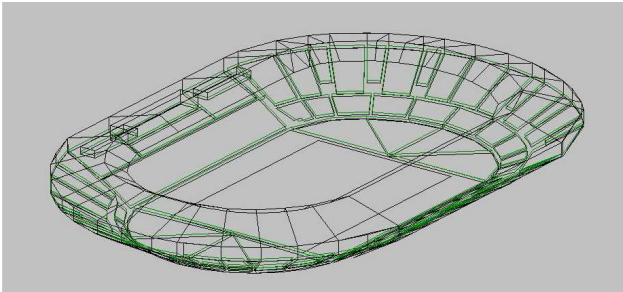


Рис. 7. Модель стадіону «Металіст» із зонами прослуховування

Для досягнення якісного озвучення на чаші стадіону були використані наступні гучномовці фірми BOSE Parana LT: Bose LT MB24; Bose LT 9402; Bose LT 4402; Bose LT 9702; Bose LT 9400; Bose LT 6400.

Всього було використано 93 звукових кластери. На чаші стадіону використовуються 7 типів кластерів:

1) кластер з трьох сабвуферів Bose LT MB24 (всього 22 кластера, розташованих рівномірно під дахом стадіону) (рис.8);

2) кластер з гучномовця Bose LT 9402, спрямованого на верхні ряди стадіону і гучномовця Bose LT 4402, спрямованого на нижні ряди стадіону (всього 16 таких кластерів знаходяться під дахом стадіону на Заході і Сході стадіону) (рис. 9);

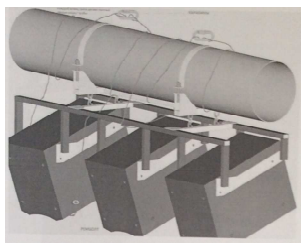


Рис. 8. Кластер з трьох сабвуферів Bose LT MB24

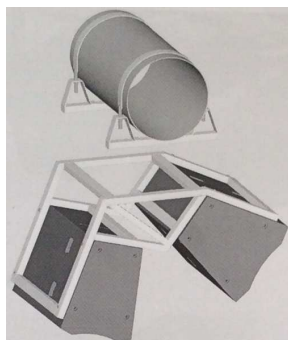


Рис. 9. Кластер з гучномовця Bose LT 9402 і гучномовця Bose LT 4402

3) кластер з гучномовця Bose LT 9702, спрямованого на середні ряди стадіону і гучномовця Bose LT 4402, спрямованого на нижні ряди стадіону (всього 22 таких кластера знаходяться під дахом стадіону на Півночі та Півдні стадіону) (рис. 10);

4) кластер з гучномовця Bose LT 9400, спрямованого на верхні ряди стадіону (всього 16 таких

кластерів знаходяться під дахом стадіону на Півночі та Півдні стадіону) (рис. 11);

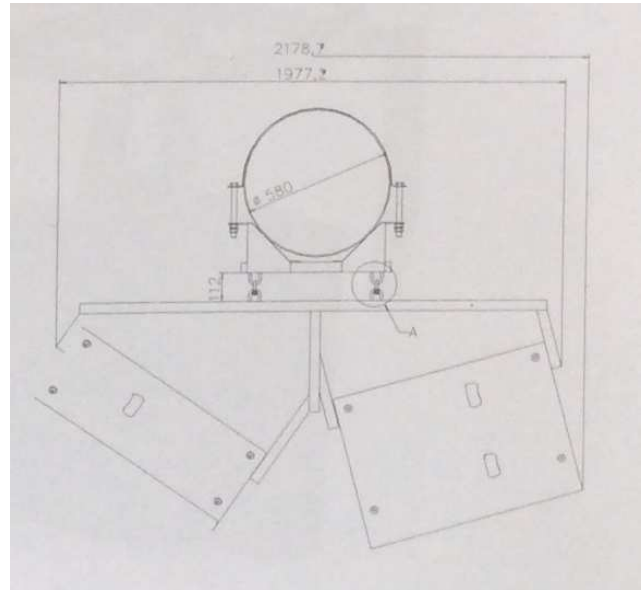


Рис. 10. Кластер з гучномовця Bose LT 9702 і гучномовця Bose LT 4402

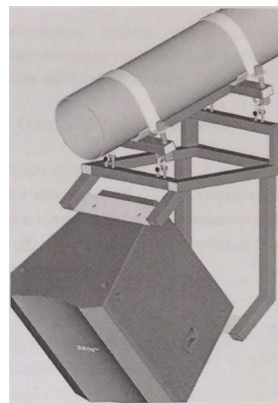


Рис. 11. Кластер з гучномовця Bose LT 9400

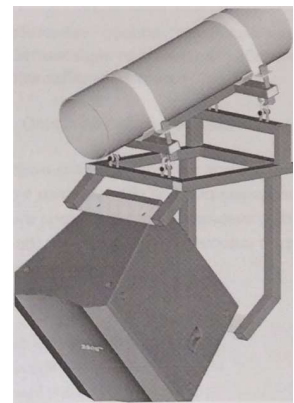


Рис. 12. Кластер з гучномовця Bose LT 6400

5) кластер з гучномовця Bose LT 6400, спрямованого на верхні ряди стадіону (всього 16 таких кластерів знаходяться під дахом стадіону на Півночі та Півдні стадіону) (рис. 12);

6) кластер з гучномовця Bose LT 4402, спрямованого на нижні ряди стадіону (всього 1 такий кластер знаходяться під дахом стадіону на Півночі стадіону) (рис. 13);

7) кластер з гучномовця Bose LT 9702, спрямованого на середні ряди стадіону (всього 1 такий кластер знаходяться під дахом стадіону на Півночі стадіону) (рис. 14).

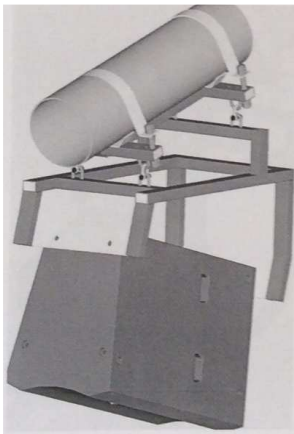


Рис. 13. Кластер з гучномовця Bose LT 4402

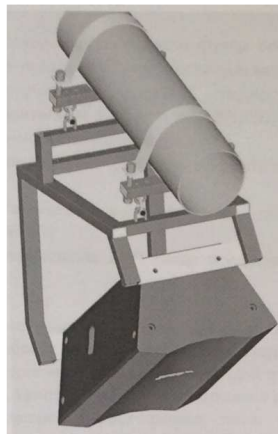


Рис. 14. Кластер з гучномовця Bose LT 9702

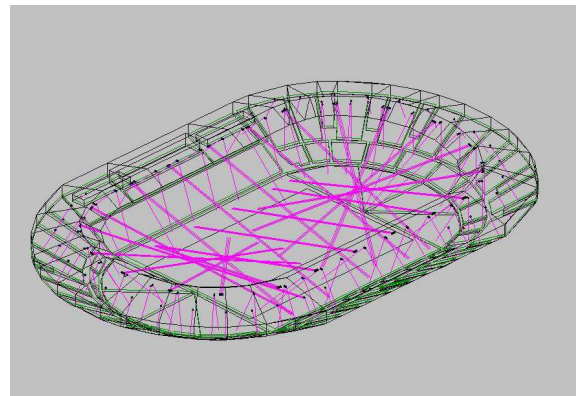


Рис. 15. Модель стадіону «Металіст» з розташованим звуковим обладнанням

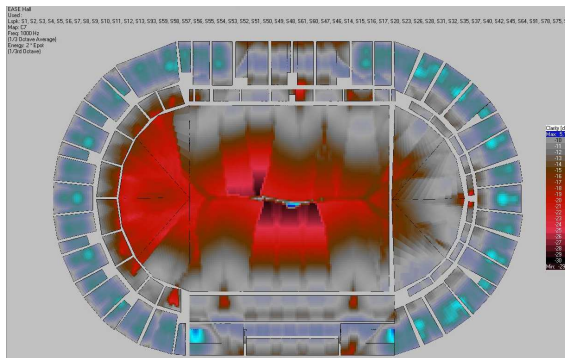
Модель стадіону «Металіст» з розташованим звуковим обладнанням зображена на рис. 15.

#### 4. Аналіз результатів моделювання

##### Показник прямого звуку $C_7$

Рівень прямого звуку  $C_7$  відображає звукові компоненти енергії прямого звуку у відношенні до звукової енергії віддзеркалень та реверберації, що прибувають після прямого звуку на місце слухача. Показник  $C_7$  - критерій суб'єктивного сприйняття «близькості» або «безпосередності» джерел звуку (співаків, оркестру, солістів).

Частотна залежність рівня прямого звуку та зображення розподілу показника на частоті 1 кГц представлена на рис. 16.



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

Рис. 16. Результати розрахунку показника прямого звуку  $C_7$

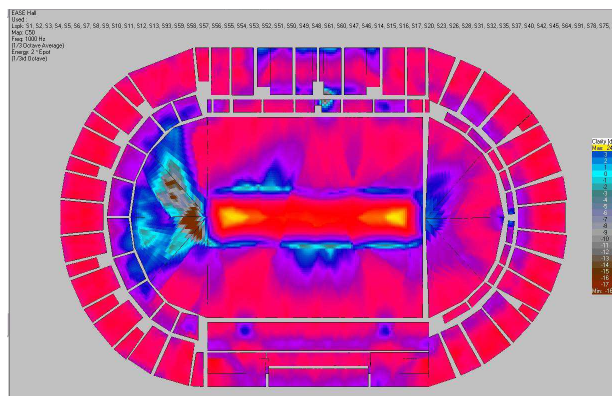
Найнижчі значення показника  $C_7$  були отримані на траві стадіону біля Північної трибуни та на нижніх рядах Північної трибуни. Надалі цієї проблеми можна уникнути завдяки іншому розташуванню гучномовців.

##### Показник мовної ясності $C_{50}$

Для визначення показника  $C_{50}$  не існує чітких нормативних правил акустики приміщення. Відношення між мовної ясністю та визначенням показника  $C_{50}$  дає оцінку, згідно якої  $C_{50}$  повинен

бути  $\geq -2$  дБ [4]. Це допомагає уникнути зменшення ясності мови нижче 80%. Ясність фрази (текстова ясність), завдяки контексту вище, ніж ясність складу, і становить 95%. Значення  $C_{50} = -2$  дБ вважається нижньою допустимою границею для доброї мовної або текстової ясності.

Результати моделювання наведені на рис. 17.



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

Рис. 17. Результати розрахунку показнику прямого звуку  $C_{50}$

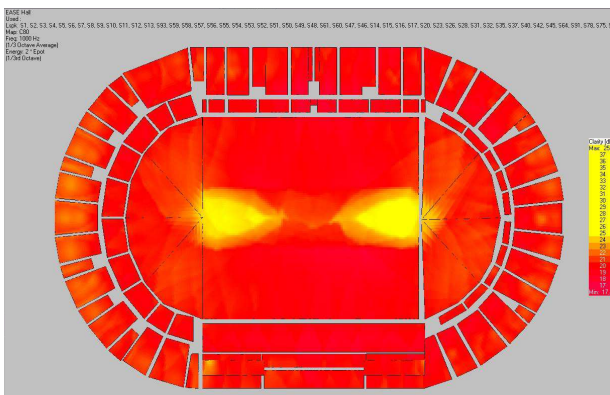
Найнижча мовна ясність спостерігається на траві стадіону, ближче до Північної трибуни, а найвища – у середині поля. На всіх рядах стадіону спостерігається мовна ясність близько 7-8 дБ. Якщо брати до уваги лише глядацькі місця, то можна зробити висновок, що на нижніх частотах добра мовна і текстова ясність.

**Показник музичної ясності  $C_{80}$ .**

Показник ясності  $C_{80}$  важливий для тимчасової реєстрованої ясності музичних творів, особливо для швидких музичних уривків.

Суб'єктивна оцінка ясності  $C_{80}$  ґрунтується на основі досліджень Абдель Аліма, згідно з якими достатня музична ясність повинна бути отримана при наступних значеннях:  $C_{80} \geq -1,6$  дБ для класичної музики (Моцарта, Гайдна);  $C_{80} \geq -4,6$  дБ для романтичної музики (Брамс, Вагнер);  $C_{80} \geq -3$  дБ для прийняттого звучання музики різних напрямків.

Результати моделювання наведені на рис. 18.



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

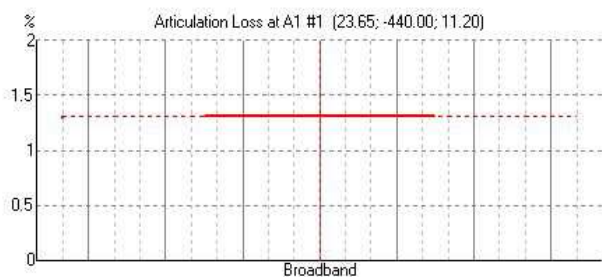
Рис. 18. Результати розрахунку показнику прямого звуку  $C_{80}$

Найнижча музична ясність спостерігається на траві стадіону, ближче до трибун, а найвища – на Північній та Південній трибуни стадіону. Таким чином, можна зробити висновок, що на середніх частотах дуже добра музична ясність.

Проаналізувавши всі критерії прослуховування музичних виступів, пов'язані з положенням слухача і джерела звуку на стадіоні «Металіст» можна зробити висновок, що основною проблемою є показники ясності біля та на нижніх рядах Північної трибуни. Як вже відзначалось, цю проблему можливо уникнути завдяки іншому розташуванню кластерів.

**Відсоток артикуляційних втрат приголосних –  $\%AL_{cons}$  (percentage Articulation Loss of Consonants).**

Результати розрахунку відсотка артикуляційних втрат приголосних представлені на рис. 19.



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

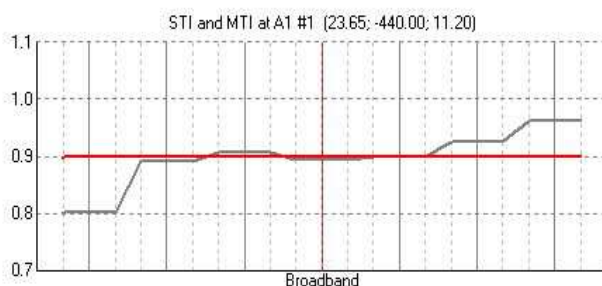
Рис. 19. Графік відсотка артикуляційних втрат приголосних

Мінімальний відсоток артикуляційних втрат приголосних становить 1%, а максимальний – 1,72%.

Так як, для приміщень, що використовуються з навчальною метою та для систем оповіщення  $AL_{cons}$  повинен становити не більше 5%, отриманий показник означає, що на стадіоні «Металіст» незначний відсоток артикуляційних втрат приголосних і ідеальна мовна ясність.

#### Індекс передачі мови – STI (speech transmission index).

Результати розрахунку індексу передачі мови представлені на рис. 20.



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

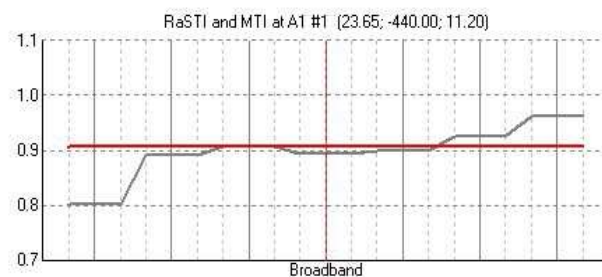
Рис. 20. Графік індексу передачі мови

Мінімальне значення індексу передачі мови становить 0,85, а максимальне – 0,95. Отримані результати означають, що на стадіоні «Металіст» відмінна розбірливість мови.

#### Індекс передачі швидкої мови – RASTI (rapid speech transmission index).

Результати розрахунку швидкого індексу передачі мови представлені на рис. 21.

Мінімальне значення швидкого індексу передачі мови становить 0,86, а максимальне – 0,98.



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

Рис. 21. Графік швидкого індексу передачі мови

## 5. Висновки

Проаналізувавши всі критерії прослуховування музичних виступів, пов'язані з положенням слухача і джерела звуку на стадіоні «Металіст», можна зробити висновок, що якщо брати до уваги тільки глядацькі місця, то показник ясності, показник прямого звуку і показник музичної ясності мають задовільні і хороші значення.

Однак, основною проблемою, яка була виявлена в результаті моделювання, є показники ясності на нижніх рядах Північної трибуни, а також близько до неї.

Проблеми можна уникнути завдяки іншому розташуванню кластерів, зменшення їх кількості в чаші стадіону та використання інших типів гучномовців.

## Література

1. Усик В.В., Модянова И.И. Акустический расчет стадиона "Металлист" // Технология приборостроения/ Спецвыпуск 2014. - С.31-35.
2. Fundamentals to perform acoustical measurements/ Dr. W. Ahnert, Dr. W. Schmidt//Appendix to EASERA. – 2005. – Р. 1-49р.
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.
5. <http://www.twirpx.com>

**Усик В.В., Модянова И.И. Использование пакета программ EASE 4.3 для моделирования акустики открытых площадок.** В статье приведен анализ существующего программного обеспечения, позволяющего проводить моделирование акустической среды открытых площадок, проведено моделирование стадиона "Металлист" в программном пакете EASE 4.3, получены частотные зависимости показателей языковой ясности при существующий системе озвучивания.

**Ключевые слова:** акустическая экспертиза, система озвучивания, критерии оценки акустики.

---

**Usik V.V., Modyanova I.I. The utilization of EASE 4.3 software package for open area acoustic modeling.** The analysis of the existing software allowing open area acoustic environment modeling has been presented in the article. The modeling of "Metalist" stadium in EASE 4.3 software package has been conducted and frequency dependences of language clarity indices under the existing sound system have been obtained.

**Key words:** acoustic expertise, sound system, acoustics evaluation criteria.

Рецензент Можяев А.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры МИТС (НТУ "ХПИ")

*Поступила 24.11.2014г.*