

УДК 004.9:534.843

## ПРОЕКТУВАННЯ ВСЕСПРЯМОВАНОГО ДЖЕРЕЛА ЗВУКУ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ АКУСТИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

М.Р. Мельник, Р. Винарович, Т. Квасниця, А.Б. Керницький

*Національний університет «Львівська політехніка»  
вул. Степана Бандери 12, Львів, 79013, Україна*

*У статті розглядається процес проектування всеспрямованого джерела звуку для автоматизації процесу акустичних вимірювань часу реверберації, звукоізоляції та звукопоглинання матеріалів. Запропоновано використати дистанційне керування джерелом звуку, що дало змогу автоматизувати процес вимірювань.*

**Ключові слова:** *всеспрямоване джерело звуку, вимірювання часу реверберації, вимірювання ізоляційності, вимірювання коефіцієнту звукопоглинання, архітектурна акустика, автоматизація досліджень, дистанційне керування.*

**Постановка проблеми.** На сьогоднішній день для вимірювання звукоізоляції та часу відлуння приміщень а також шумопоглинання акустичних матеріалів використовуються всеспрямовані джерела шуму. Наприклад для того, щоб виміряти час реверберації у приміщенні необхідно заміряти за який час звукова енергія спаде на 60 дБ з моменту різкого переривання роботи джерела звуку. На ринку акустичних систем, існує багато систем аналогів [1,2,3], які використовуються для акустичних вимірювань, однак проведений аналіз дав змогу встановити, що вони не мають віддаленого керування і є досить дорогими. У зв'язку з чим для автоматизації процесу реєстрації відгуку приміщення на збудження широкосмуговим шумом поставлена задача спроектувати та виконати засоби для віддаленого управління джерелом шуму, що має забезпечити можливість проведення експериментів одній людині. До цього часу необхідно було мінімум дві особи, одна з допомогою шумоміра реєструвала відгук приміщення на збудження шумом а інша включала та виключала джерело шуму. При визначенні звукоізоляції, джерело звуку і шумомір взагалі знаходяться у інших кімнатах, що виключає можливість провести експеримент одній людині.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Досліджень присвячених проектуванню всеспрямованих джерел шуму, не так вже і багато [4-7], і то вони в основному присвячені покращенню діаграми напрямленості, а ми ставили акцент у даній роботі в основному на автоматизацію процесу акустичних вимірювань у яких використовуються всеспрямовані джерела звуку.

**Мета статті.** Розробити модель системи дистанційного управління всеспрямованим джерелом шуму для забезпечення автоматизації процесу проведення акустичних вимірювань часу реверберації та звукоізоляції.

**Проектування конструкції.** При аналізі апаратного забезпечення бра-лося до уваги співвідношення ціна якість. У кінцевому результаті встановле-но, що найоптимальнішим варіантом є використання готової системи Arduino Nano, яка має компактні розміри та малий струм живлення, який становить  $I \sim 0.4A$  при  $U = 5V$ . Також проведено тестування з якої відстані можна відда-лено управляти джерелом звуку. У результаті тестувань встановлено, що на-віть при віддалені від джерела шуму на 20 метрів та з перешкодами у вигляді трьох стін товщиною 20 см система правильно та ефективно працювала. При проектуванні всеспрямованого джерела звуку бралася до уваги також надій-ність пристрою. Адже кожен виїзд на вимірювання є трудоємним та коштов-ним процесом і люба несправність може призвести до невірних результатів чи взагалі виключити можливість їх проведення. Нерідко вимірювання можуть проводитись навіть в іншій країні. Тому, рекомендується наприклад при виїзді на вимірювання далеко від місця розташування лабораторії - мати запасний динамік. Це на випадок якщо вийде із ладу один із 12 встановлених у колонці динаміків. Адже, якщо вийде з ладу один динамік то ми не зможем продовжити вимірювання бо буде дизбаланс по рівню гучності в каналах. Якщо вийде із ладу підсилувач, то нажалі продовжити вимірювання не вдасться. Тому при проектуванні конструкції джерела звуку передбачена можливість підключення зовнішнього підсилувача у разі виходу з ладу вбудованого. Регулювання рівня гучності здійснюється за допомогою потенціометра.

**Проектування дистанційного управління.** Для проведення акустичних експериментів вимагається різке переривання шуму. Для вирішення цієї задачі пропонується не вимикати підсилувач, адже наявні у конструкції конденса-тори призведуть до плавного загасання звуку. Тому використано реле високо-го струму (до 10A) на розрив додатного живлення динаміків. Для управління реле потрібен струм 20mA. У зв'язку із чим для дистанційного управління ко-лонкою використано платформу Arduino Nano на контролері Atmega328 (див. рис. 1), яка має невеликі розміри (1.85 см x 4.2 см) та порівняно із іншими платформами низьку вартість. Дана платформа має необхідну кількість входів/виходів та струм входу/виходу 40mA, що у 2 рази більше ніж потрібно для управління реле. Маючи запас потужності у 2 рази ми досягаєм більшої надій-ності пристрою. Для управління пристроєм розроблено програмний код, який наведено на нижче. При розробці врахували те, що контролер має внутрішню пам'ять 32Кб без можливості розширення. Оперативної пам'яті розміром 2Кб та тактової частоти 16 МГц достатньо для швидкого реагування контролера на виконання наших потреб. Програма дає змогу вмикати та вимикати реле у по-трібний момент, посилаючи на модуль реле низький та високий рівні сигналу. Віддалене керування здійснюється по Bluetooth версії 2.0. Для цього викори-стали модуль HC-05 (див Рис. 1).

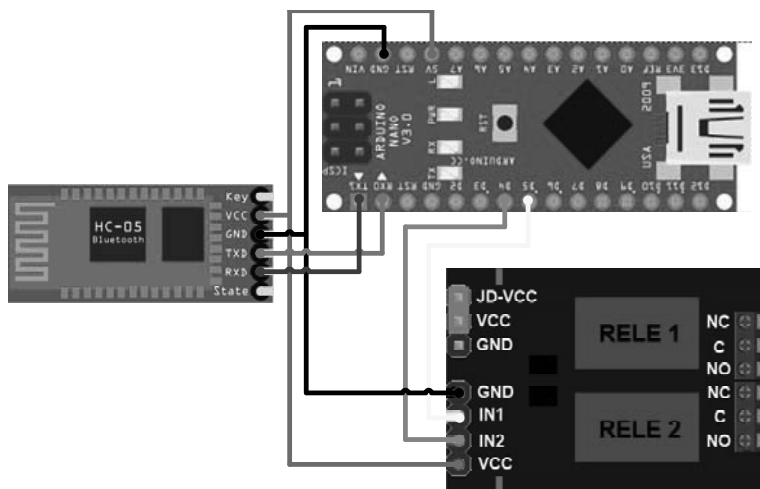


Рис. 1. Схема дистанційного керування

```

char incomingByte;
int Relay1 = 4;
int Relay2 = 5;
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  pinMode(Relay1, OUTPUT);
  pinMode(Relay2, OUTPUT);
}
void loop() {
  if (Serial.available() > 0) {
    incomingByte = Serial.read();
    if(incomingByte == '0') {
      digitalWrite(Relay1, LOW);
      digitalWrite(Relay2, LOW);
    }
    if(incomingByte == '1') {
      digitalWrite(Relay1, HIGH);
      digitalWrite(Relay2, HIGH);
    }
  }
}
}

```

Рис. 2. Код програми для мікроконтролера

**Проектування корпусу.** Діаграма спрямованості звуку сферичного джерела, зазвичай представленого у вигляді додекаедра, його діаграма напрямленості близька до сферичної. Таке джерело звуку є оптимальне для

вимірювання часу реверберації. Для забезпечення рівномірності діаграми спрямованості і як наслідок рівномірного поширення звуку у просторі використано 12 динаміків, які розташовані по одному на кожній із 12 площин (див. Рис. 3).



Рис. 3. Всеспрямоване джерело звуку

**Добір динаміків.** Вибір динаміків є найголовнішою задачею при створенні автономного джерела звуку, адже саме вони відтворять цей звук. Для системи, що проектується запропоновано використати динаміки 20 ГДШ-106, виготовлені українським науково-виробничим підприємством «Радій». Їх вибір обумовлений їхньою малою вартістю порівняно з іноземними аналогами і електричним опором 8 Ом. Адже, чим більший номінальний електричний опір, тим менше навантаження на підсилювач, а отже менша імовірність виходу із ладу. При цьому зменшується вихідна потужність на динамічну головку, і одночасно збільшується якість звуку, що є важливим фактором. Детальні характеристики динаміків 20 ГДШ-106 представлено в табл. 1. При доборі динаміків особлива увага приділялася таким параметрам, як номінальний електричний опір, та номінальна потужність. Іншим важливим чинником при виборі динаміка є його діапазон частот. Згідно стандарту ISO 3382[8] при визначенні звукоізоляції та реверберації частотний діапазон повинен охоплювати щонайменше від 100 Гц до 5000 Гц. Беручи до уваги потрібний діапазон, зрозуміло, що низько-, середньо- та високочастотні динаміки не підходять для поставленої задачі, на відміну від широкосмугових динаміків. Вибравши динаміки, на наступному кроці проведено дослідження оптимального їх з'єднання. У процесі розрахунків встановлено, що найкраще підключити динаміки послідовно у три плеча (див. Рис. 4), кожне з яких матиме по 16 Ом. Далі з'єднуємо 3 плеча паралельно. Розрахунок опору наведено нижче:

$$R_{\text{плеча}} = R_1 + R_2 = 8 + 8 = 16(\text{Ом})$$

Опір одного плеча

$$R_{1,2\text{плеча}} = \frac{R_{1\text{плеча}} * R_{2\text{плеча}}}{R_{1\text{плеча}} + R_{2\text{плеча}}} = \frac{16 * 16}{16 + 16} = \frac{256}{32} = 8(\text{Ом})$$

Опір двох плеч

$$R = \frac{R_{1,2\text{плеча}} * R_{3\text{плеча}}}{R_{1,2\text{плеча}} + R_{3\text{плеча}}} = \frac{8 * 16}{8 + 16} = \frac{128}{24} = 5.3(\text{Ом})$$

Опір трьох плечей

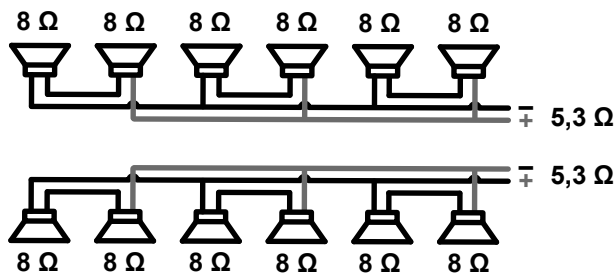


Рис. 4. Схема підключення динаміків та їх загальний опір

З'єднання як на Рис. 4 підходить для нашого підсилювача. Таким чином, ми узгодили вихідний опір підсилювача. Підсилювач буде віддавати в навантаження потрібну потужність без перевантаження.

Використання потужніших динаміків неможливе, адже при зменшенні вихідної потужності, зменшується рівень звуку. А при дослідженнях потрібно забезпечити мінімальний відступ сигнал-шум. Наприклад для вимірювання часу реверберації T20 необхідно забезпечити відступ сигнал-шум мінімум 35 дБ.

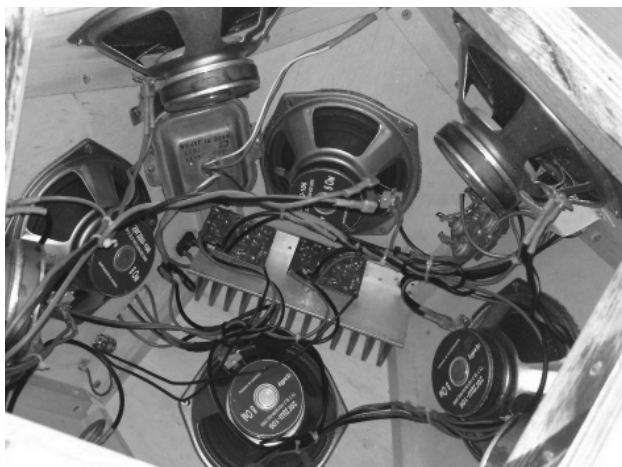


Рис. 5. Фото конструкції

**Проектування підсилювача.** Підсилювачі є невід'ємною частиною звуковідтворювальної системи. Для реалізації даного проекту вибрано підсилювач на мікросхемі TDA7294 із малою кількістю деталей, який не вимагає налаштувань. Крім того мікросхема TDA7294, має внутрішній захист від короткого замикання в навантаженні і захист від перегріву. Ця ІМС є УНЧ класу АВ. Однією з основних особливостей цієї мікросхеми є застосування польових транзисторів у попередніх і вихідних каскадах посилення. До її переваг відносяться велика вихідна потужність (до 100 Вт при навантаженні опором 4 Ом), можливість роботи в широкому діапазоні напруги живлення, високі технічні характеристики (малі спотворення, низький рівень шуму, широкий діапазон робочих частот і т.д.), мінімум необхідних зовнішніх компонентів і невелика вартість.

Якість звучання підсилювача в більшості випадків визначається параметрами кінцевого підсилювача, як окремого, так і такого, що входить до складу повного підсилювача. Тому особливу увагу приділено вибору кінцевого підсилювача, який відповідає вимогам ISO 3382-2 [8].

У проектуванні даної системи вибрано кінцевий підсилювач на інтегральній мікросхемі TDA7294 класу АВ. Його призначення полягає в посиленні сигналу по напрузі на 33 дБ до рівня і потужності, необхідної для нормальної роботи всеспрямованого джерела звуку. У них, як правило, відсутня можливість регулювати будь-які параметри сигналу. До переваг таких підсилювачів відносять їх компактність, мінімальну кількість зовнішніх елементів і високу ремонтпридатність. ІМС має внутрішній захист від короткого замикання в навантаженні і захист від перегріву, що забезпечує малу ймовірність виходу з ладу пристрою. Однією з основних особливостей цієї мікросхеми є застосування польових транзисторів у попередніх і вихідних каскадах посилення. До її переваг відносяться великий діапазон частот 20-20000Гц, велика вихідна потужність (до 80 Вт при навантаженні опором 6 Ом), можливість роботи в широкому діапазоні напруги живлення  $\pm 25 - \pm 35$  В та малий струм у режимі спокою, який становить 30мА. Малий коефіцієнт спотворень, який при частоті 1КГц та потужності на виході 50Вт становить 0.01% свідчить про те, що дану акустику можна віднести до класу *HIFI*. На рис. 6 представлено схему принципову електричну підсилювача, для її реалізації спроектовано та виконано друковану плату (див. рис. 7) на якій розміщено всі елементи підсилювача.

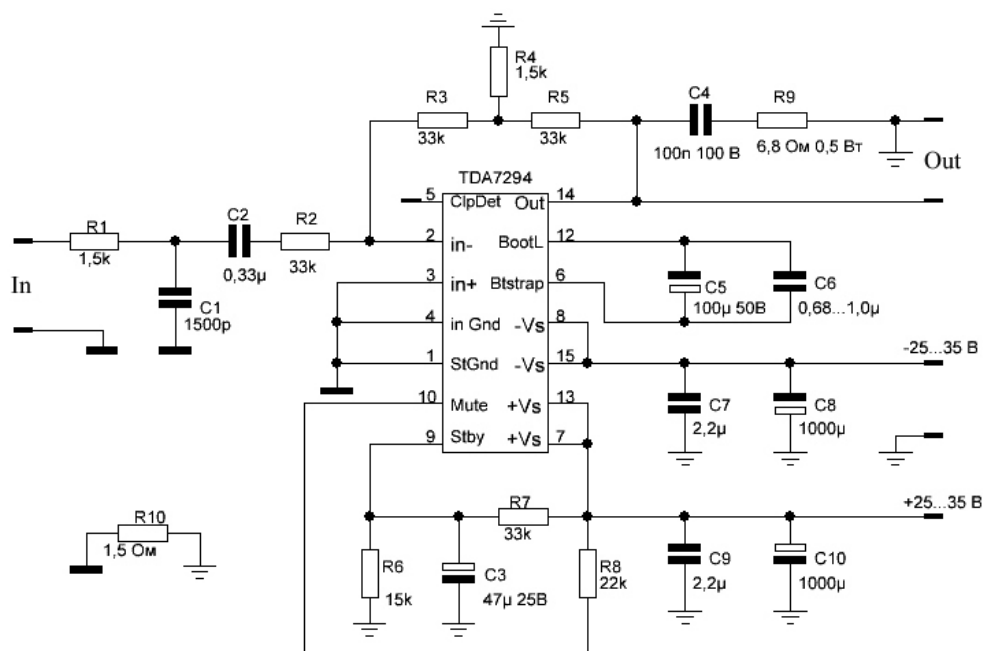


Рис. 6 Принципова електрична схема підсилювача

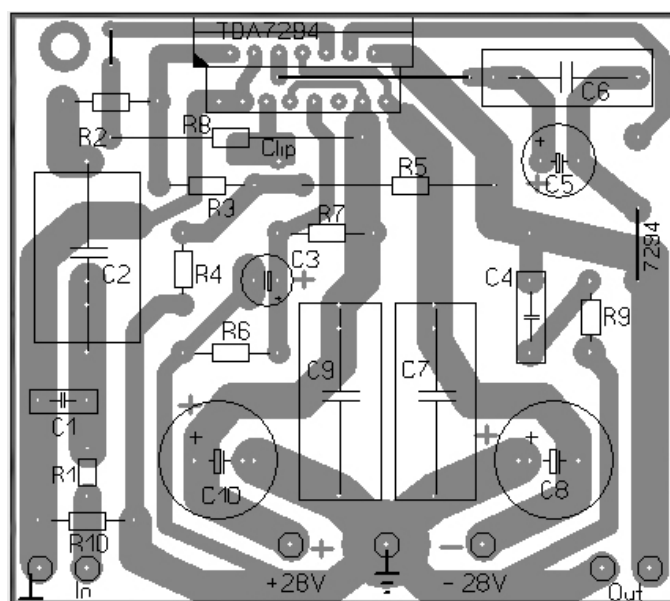


Рис. 7 Друкована плата та розміщення елементів на ній

**Дослідження акустичних характеристик джерела звуку.** Для досліджень характеристик спроєктованого всепрямованого джерела звуку використано аналізатор звуку SVAN 958 [9], програмне забезпечення до нього

SvanPC++[10], та генератор білого шуму. Спектральну характеристика сигналу на виході із генератора шуму наведено на рис. 8, як бачим для діапазону частот від 125Гц до 8 кГц, вона є вміру лінійною.

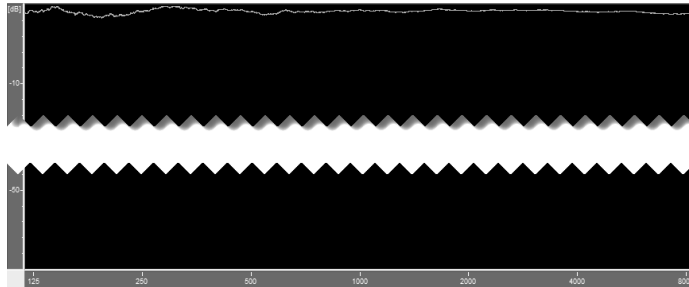


Рис. 8 Спектральна характеристика генератора білого шуму

На рис. 9 представлено спектральну характеристику джерела звуку, як бачим на відміну від генератора білого шуму, нам не вдалося досягти такої лінійності, однак основна задача при акустичних вимірюваннях отримати якомога більший відступ сигналу від шуму, який у нашому випадку становить більше 45 дБ, отже спроектоване джерело звуку може використовуватись для вимірювання часу реверберації T20, T30, звукоізоляції та коефіцієнтів поглинання матеріалів.

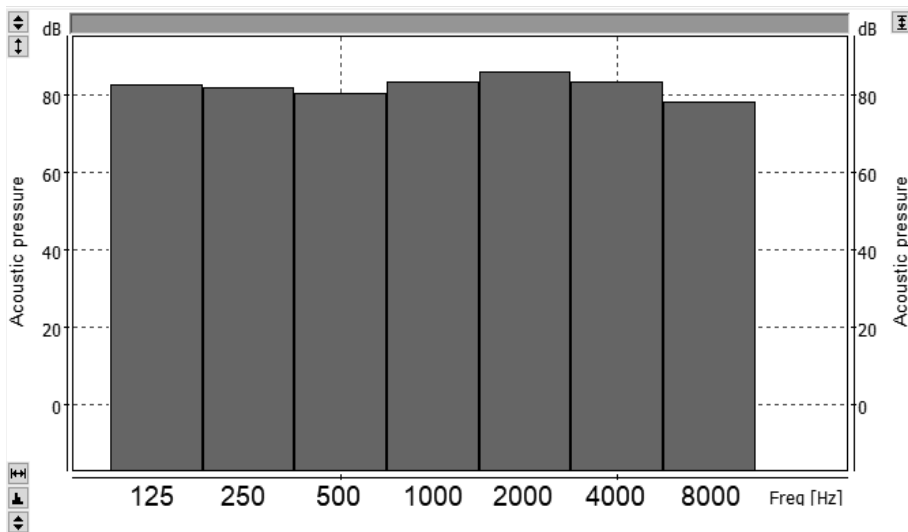


Рис. 9 Спектральна характеристика всепрямованого джерела шуму

**Висновки.** Спроековано та виконано всепрямоване джерело звуку та систему дистанційного управління ним, що дало змогу автоматизувати процес проведення акустичних досліджень.



За допомогою аналізатора шуму і програмного забезпечення SvanPC++ проведено дослідження акустичних характеристик спроектованого джерела звуку, які підтвердили, що дане джерело може використовуватись для дослідження часу реверберації T20, T30, звукоізоляції та коефіцієнтів поглинання матеріалів.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/sound-sources/omni-power-light-4292>
2. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.cesva.com/en/products/sound-sources/bp012/>
3. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <http://www.theclockgallery.com/item123.htm>
4. BAI, Mingsian R.; CHUNG, Kuochan. Optimal design of panel speaker array with omnidirectional characteristics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 2002, 112.5: 1944-1952.
5. TASHEV, Ivan, et al. Robust design of wideband loudspeaker arrays. In: *Acoustics, Speech and Signal Processing, 2008. ICASSP 2008. IEEE International Conference on. IEEE, 2008. p. 381-384.*
6. PETER, B. Keith. Speaker system. U.S. Patent No 4,336,861, 1982.
7. POLACK, Jean-Dominique; CHRISTENSEN, Leif Sloth; JUHL, Peter Möller. An innovative design for omnidirectional sound sources. *Acta Acustica united with Acustica*, 2001, 87.4: 505-512.
8. ISO, E. N. 3382-2: 2008. Acoustics. Measurements of room acoustics parameters. Part, 2: 3382-2.
9. SVAN 958 User Manual
10. SvanPC++ software User Manual

### REFERENCES

1. <https://www.bksv.com/en/products/transducers/acoustic/sound-sources/omni-power-light-4292>
2. <https://www.cesva.com/en/products/sound-sources/bp012/>
3. <http://www.theclockgallery.com/item123.htm>
4. BAI, Mingsian R.; CHUNG, Kuochan. (2002). Optimal design of panel speaker array with omnidirectional characteristics. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 112.5: 1944-1952. (in English)
5. TASHEV, Ivan, et al. (2008). Robust design of wideband loudspeaker arrays. In: *Acoustics, Speech and Signal Processing, ICASSP 2008. IEEE International Conference on. IEEE, 2008. p. 381-384.* (in English)
6. PETER, B. Keith. (1982). Speaker system. U.S. Patent No 4,336,861. (in English)
7. POLACK, Jean-Dominique; CHRISTENSEN, Leif Sloth; JUHL, Peter Möller. (2001). An innovative design for omnidirectional sound sources. *Acta Acustica united with Acustica*, 87.4: 505-512. (in English)
8. ISO, E. N. 3382-2: 2008. Acoustics. Measurements of room acoustics parameters. Part, 2: 3382-2. (in English)
9. SVAN 958 User Manual. (in English)
10. SvanPC++ software User Manual. (in English)

UDC 004.9:534.843

**DESIGN OF OMNIDIRECTIONAL SPEAKER FOR AUTOMATION  
OF ACOUSTIC MEASUREMENT PROCESS**

M.R. Melnyk, R. Vynarovych, T. Kvasnytsya, A.B. Kernytskyy

*Lviv Polytechnic National University  
12, S. Bandera St., Lviv, Ukraine, 79013  
MelnykMR@gmail.com*

*The article presents the process of an omnidirectional speaker design to automate the process of acoustic measurements of reverberation time, sound insulation and material sound absorption. It has been suggested to use a remote control of the omnidirectional speaker allowing to automate the measurement process.*

**Keywords:** *omnidirectional speaker, measurement of reverberation time, isolation measurement, measurement of sound absorption coefficient, architectural acoustics, automation of research, remote control.*

*Стаття надійшла до редакції 25.05.2017*

*Received 25.05.2017*