
ОБРОБКА ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ІНФОРМАЦІЇ

УДК 681.78:620.179.1

<https://doi.org/10.15407/vidbir2024.52.027>

АВТОМАТИЗОВАНИЙ ІНТЕРФЕРОМЕТРИЧНИЙ СТЕНД ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНИХ ХАРАКТЕРИСТИК АКУСТИЧНИХ ВИПРОМІНЮВАЧІВ

О. Г. Куць, Л. І. Муравський, Г. І. Гаськевич

Фізико-механічний інститут ім. Г. В. Карпенка НАН України, Львів

E-mail: muravskyleon@gmail.com

Створено автоматизований інтерферометричний стенд (АІС) для визначення амплітудно-частотних характеристик (АЧХ) акустичних випромінювачів у діапазоні 0,5 ÷ 200 кГц. Алгоритм керування стендом здійснено за допомогою розробленого програмного забезпечення. Результати вимірювання АЧХ серійно виготовлених широкосмугових випромінювачів акустичних хвиль за допомогою АІС задовільно збігаються із паспортними даними. Побудовано АЧХ експериментального зразка п'єзоелектричного випромінювача, виготовленого для виявлення та ідентифікації внутрішніх дефектів у шаруватих композитних структурах та клейових з'єднаннях "композит-бетон".

Ключові слова: *інтерферометричний стенд, акустичний випромінювач, амплітудно-частотна характеристика, внутрішній дефект.*

AUTOMATED INTERFEROMETRIC STAND FOR DETERMINATION OF AMPLITUDE-FREQUENCY CHARACTERISTICS OF ACOUSTIC EMITTERS

O. G. Kuts, L. I. Muravsky, G. I. Gaskevych

H. V. Karpenko Physico-Mechanical Institute of the NAS of Ukraine, Lviv

An automated interferometric stand (AIS) was created to determine the amplitude-frequency characteristics of acoustic emitters in the range from 0.5 to 200 kHz. The created AIS contains a unit for generating acoustic sinusoidal excitation pulse packets and a recording unit. The unit for generating acoustic pulse packets includes a generator of sinusoidal signals, a microprocessor unit for pulse packets generation and the AIS synchronization, a power amplifier of a sinusoidal signal to create a sufficient power of the acoustic emitter excitation signal. The recording unit includes a Michelson interferometer with a sound-conducting rod in one of the arms. One of the ends of the rod has a mirror surface. The other end is connected to the acoustic emitter through an acoustic contact. The length of the sound-conducting rod is 50 cm, which is enough to ensure measurements at the lower limit of the frequency range of the acoustic emitter radiation. The propagation time of the acoustic wave in the rod is of the order of 75 μ s. As the end of the rod vibrates due to acoustic excitation, the initial path difference of the optical beams in the interferometer will change, causing a change in the intensity of the illumination produced by the interfering beams. These changes are recorded by photodiode in the other arm of the interferometer. After the photodiode signal is amplified in the amplifier, it is fed to the analog-to-digital converter, the output of which is transferred to the buffer memory, where the discretized values of the response signal amplitude during the time of the measuring pulse are accumulated. The control algorithm of the AIS is carried out with the help of developed software. The results of measuring the amplitude-frequency characteristics of mass-produced broadband acoustic emitters using AIS proved the satisfactory convergence of the obtained frequency responses with the passport data of these serial devices frequency responses. The amplitude-frequency characteristic of experimental sample of a piezoelectric acoustic emitter, made for research on the detection and identification of internal defects in laminated composite structures and "composite-concrete" adhesive joints, was obtained.

Keywords: *interferometric stand, acoustic emitter, amplitude-frequency characteristic, internal defect.*

© О. Г. Куць, Л. І. Муравський, Г. І. Гаськевич, 2024

Вступ. Акустичні випромінювачі (АВ) у звуковому та ультразвуковому спектральних діапазонах використовують в оптико-акустичних системах діагностування виробів та елементів конструкцій, виготовлених зі шаруватих композитів, та клейових з'єднань “композит–бетон”, щоб виявити внутрішні дефекти і розшарування [1, 2]. Вони дають змогу збуджувати резонансні частоти, що ініціюють вібрації шарів композитних елементів. Тому внутрішні дефекти можна фіксувати за результатами оброблення спекл-інтерферограм, широгам та динамічних спекл-зображень, зареєстрованих у задані моменти часу [3–9]. Для ефективного функціонування таких систем необхідно виміряти АЧХ випромінювачів, що є окремим завданням. Для їх визначення у діапазоні 0,5÷200 кГц створено автоматизований інтерферометричний стенд (АІС) (рис. 1).

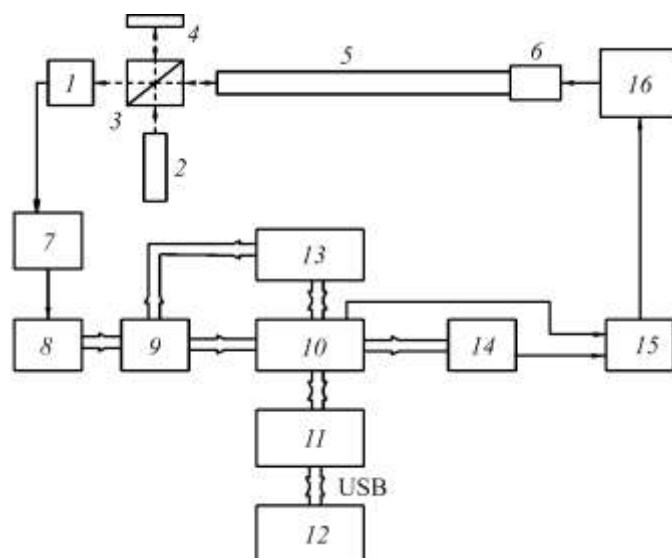


Рис. 1. Блок-схема автоматизованого інтерферометричного стенда: 1 – фотодіод; 2 – лазер; 3 – світлоподільник; 4 – опорне дзеркало; 5 – звукопровідний стрижень; 6 – акустичний випромінювач; 7 – підсилювач сигналу фотодіода; 8 – аналого-цифровий перетворювач; 9 – блок буферної оперативної пам’яті (ОЗП); 10 – мікропроцесорний вузол формування вимірювальних імпульсів та синхронізації; 11 – вузол інтерфейсу USB; 12 – комп’ютер; 13 – реєстр адресування оперативної пам’яті; 14 – програмований синтезатор синусоїдального сигналу; 15 – комутувальний ключ; 16 – підсилювач потужності синусоїдального сигналу.

Він містить блок формування пачок акустичних синусоїдальних імпульсів збудження та блок реєстрації. Перший оснащений генератором синусоїдальних сигналів 11, мікропроцесорним вузлом формування імпульсів та синхронізації 10, підсилювачем потужності синусоїдального сигналу 9 для збудження акустичного випромінювача, а другий – інтерферометром Майкельсона зі звукопровідним стрижнем 5 в одному з плечей. Один із торців стрижня має дзеркальну поверхню. Інший через акустичний контакт з’єднано з АВ 6. Довжина звукопровідного стрижня 50 см, що достатньо для забезпечення вимірювань на нижній границі частотного діапазону випромінювання АВ. Час поширення акустичної хвилі в стрижні (для вибраного матеріалу) – порядку 75 мкс. Початкова різниця ходу оптичних променів у інтерферометрі $\Delta l = (\lambda/4)(2n + 1)$, де λ – довжина хвилі випромінювання лазера. За коливань торця стрижня, викликаних акустичним збудженням, ця різниця ходу змінюватиметься, викликаючи зміну інтенсивності освітлення від інтерферованих променів. Ці зміни реєструє фотодіод 1 в іншому плечі інтерферометра. Під час зміщення дзеркального торця на віддаль порядку

$\lambda/20$ косинусоїдальний закон зміни інтенсивності можна апроксимувати прямою лінією з похибкою до 1%. Тому інтерферометр можна розглядати як аналоговий електронно-оптичний лінійний перетворювач механічних зміщень Δl в електричну напругу ΔU . Після підсилення сигнал фотодіода подають на аналого-цифровий перетворювач 8, вихідний результат перетворення якого передають у буферну пам'ять 9, де накопичуються дискретизовані значення амплітуди сигналу відгуку за час вимірювального імпульсу. Керує адресацією буферної пам'яті регістр 13. Загальний алгоритм керування стендом здійснюється комп'ютером 12 за допомогою спеціально розробленого програмного забезпечення. Управляє збором та передачею даних, а також виконує команди з комп'ютера мікропроцесорний вузол формування вимірювальних імпульсів та синхронізації 10 через інтерфейсну схему USB 11. АЧХ АВ визначають за амплітудами відгуків в усьому діапазоні частот. Генерує вимірювальний сигнал програмований цифровий синтезатор синусоїдального сигналу, частоту генерації якого задають з комп'ютера. Комутовальний ключ 15 за сигналом з мікропроцесора формує вимірювальну пачку синусоїдального сигналу, який через підсилювач 16 збуджує акустичний сигнал у перетворювачі б. На рис. 2 наведений загальний вигляд АІС.

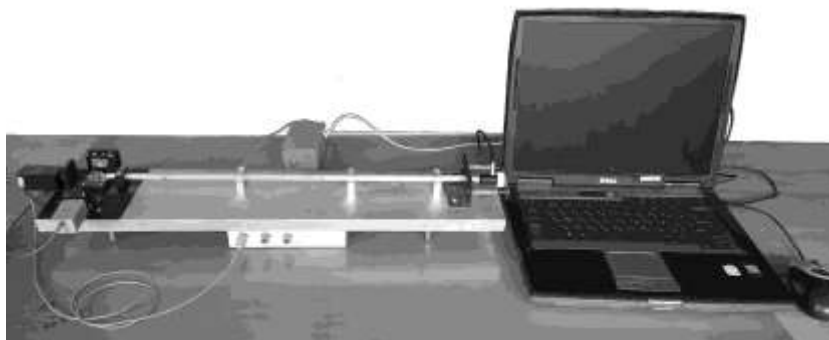


Рис. 2. Загальний вигляд автоматизованого інтерферометричного стенда.

Щоб оцінити достовірність результатів визначення АЧХ п'єзоелектричних акустичних перетворювачів за допомогою АІС, перевіряли АЧХ ультразвукових випромінювачів фірми Acoustic Control Systems. Виявили (рис. 3 і 4) задовільну збіжність АЧХ, отриманих за допомогою АІС, із паспортними даними для них.

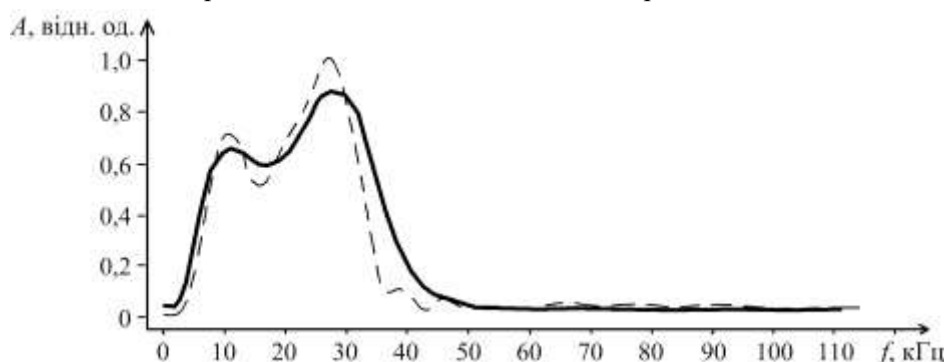


Рис. 3. АЧХ ультразвукового випромінювача S1905, отримані за допомогою АІС (суцільна крива) і за паспортними даними (штрихова).

Знайдено також АЧХ експериментального п'єзоелектричного АВ (рис. 4), частоту збудження якого змінювали у діапазоні 0,5÷120 кГц. Зазначимо, що спектральний діапазон АЧХ експериментального зразка АВ ширший, зокрема низькочастотний, що дає можливість виявляти внутрішні дефекти великих розмірів.

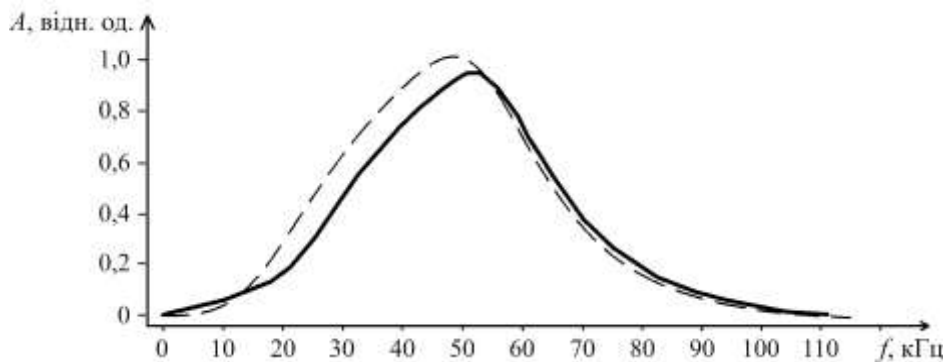


Рис. 4. АЧХ ультразвукового випромінювача S1802, отримані за допомогою АІС (суцільна крива) і за паспортними даними (штрихова).

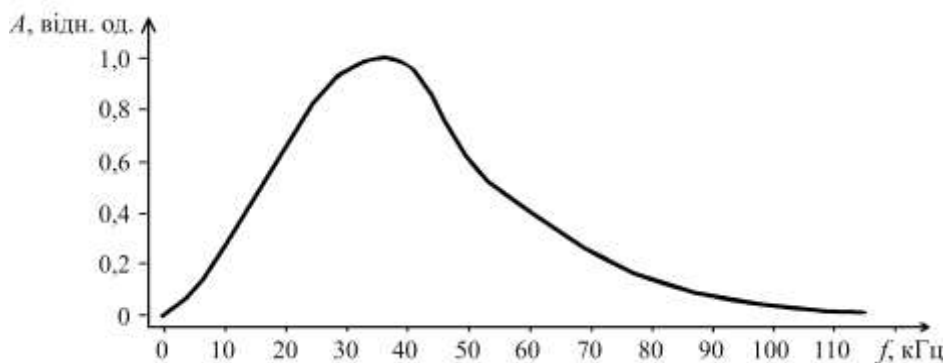


Рис. 5. АЧХ експериментального акустичного випромінювача.

Таким чином, розроблений АІС дає змогу вимірювати АЧХ акустичних випромінювачів, виготовлених для створення акусто-оптичних систем виявлення та ідентифікації внутрішніх дефектів у шаруватих композитах та з'єднаннях “композит–бетон”. Результати апробації АІС на ультразвукових випромінювачах S1802 і S1905 засвідчили задовільну збіжність отриманих АЧХ із паспортними даними. Побудовано АЧХ експериментального зразка п'єзоелектричного АВ, виготовленого для виявлення та ідентифікації внутрішніх дефектів у шаруватих композитних структурах та клейових з'єднаннях “композит–бетон”.

1. Kang, Y.K.; Park, H.C.; Kim, J.; Choi S.B. Interaction of active and passive vibration control of laminated composite beams with piezoceramic sensors/actuators. *Mater. Des.* **2002**, 23(3), 277–286. [https://doi.org/10.1016/S0261-3069\(01\)00081-4](https://doi.org/10.1016/S0261-3069(01)00081-4)
2. Liu, S.; Sun, W.; Jing, H.; Dong, Z. Debonding detection and monitoring for CFRP reinforced concrete beams using piezoceramic sensors. *Materials.* **2019**, 12(13), 2150. <https://doi.org/10.3390/ma12132150>
3. Qiu Q. Imaging techniques for defect detection of fiber reinforced polymer bonded civil infrastructures. *Structural Control Health Monitoring.* **2020**, 27, e2555. <https://doi.org/10.1002/stc.2555>
4. Wang, L.S.; Krishnaswamy S. Additive-subtractive speckle interferometry: extraction of phase data in noisy environments. *Optical Engineering.* **1996**, 35(3), 794–801. <https://doi.org/10.1117/1.600649>
5. Fomitchov, P.; Wang, L.S.; Krishnaswamy S. Advanced image-processing techniques for automatic nondestructive evaluation of adhesively-bonded structures using speckle interferometry. *Journal Nondestruct. Evaluation.* **1997**, 16, 215–227. <https://doi.org/10.1023/A:1021848031529>
6. Lai, W.L.; Kou, S.C.; Poon, C.S.; Tsang, W.F.; Ng, S.P.; Hung, Y.Y. Characterization of flaws embedded in externally bonded CFRP on concrete beams by infrared thermography and shearography. *Journal Nondestruct. Evaluation.* **2009**, 28, 27–35. <https://doi.org/10.1007/s10921-009-0044-x>

-
7. Qiu, Q.; Lau, D. Measurement of structural vibration by using optic-electronic sensor. *Measurement*. **2018**, 117, 435–443. <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2017.12.040>
 8. Nazarchuk, Z.T.; Muravsky, L.I.; Kuts, O. G. Nondestructive testing of thin composite structures for subsurface defects detection using dynamic laser speckles. *Residual Nondestructive Evaluation*. **2022**, 33, 59–77. <https://doi.org/10.1080/09349847.2022.2049407>
 9. Nazarchuk, Z.; Muravsky, L.; Kuryliak, D. Methods for processing and analyzing the speckle patterns of materials surfaces. In: *Optical metrology and optoacoustics in nondestructive evaluation of materials*; Nazarchuk, Z., Muravsky, L., Kuryliak, D. Eds.; Springer Nature, 2023; pp 249–323. https://doi.org/10.1007/978-981-99-1226-1_6

Одержано 19.06.2024