

**Лісовець С.М.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Ківа І.Л.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

**Гуйда О.Г.**

Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського

## НЕРУЙНІВНИЙ АКУСТИЧНИЙ КОНТРОЛЬ ПОВЕРХНЕВОЇ ГУСТИНИ І ІНШИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ БАГАТОВІСНИХ ТКАНИН: ПЕРЕВАГИ І НЕДОЛІКИ

*Стаття присвячена засобам дослідження властивостей деяких текстильних матеріалів, які вже давно і у великих кількостях використовуються людьми в побуті і виробничій діяльності, а їх асортимент, в залежності від призначення, є дуже різноманітним. В проведеному дослідженні розглянуто тканини, які відносяться до текстильних матеріалів, що складаються з кількох шарів ниток, розміщених одні відносно одних в різних напрямках (по різним осям) – це так звані багатовісні тканини. В ньому встановлено, що властивості текстильних матеріалів звичайно контролюються за допомогою різних руйнівних методів, коли спочатку отримується зразок (фрагмент) текстильного матеріалу, а після цього вимірюються і аналізуються його властивості. Також встановлено, що основним недоліком руйнівних методів контролю є відсутність оперативності, коли необхідно контролювати текстильний матеріал (багатовісну тканину), наприклад, в процесі виробництва, швидко оцінюючи її властивості і впливаючи, за необхідності, на технологічний процес її виготовлення. Відомо, що акустичні методи контролю, які використовують безконтактні акустичні перетворювачі і є неруйнівними, можуть бути використані як доповнення, а іноді як заміна для існуючих руйнівних методів. Встановлено, що в таких випадках доцільно використовуються тіньові методи, коли акустичні перетворювачі розташовуються по різні сторони багатовісної тканини. Також встановлено, що у випадку контролю однієї якоїсь властивості багатовісної тканини, наприклад, поверхневої густини, товщини одного з шарів або непроклеювання, вона звичайно однозначно впливає на загасання або фазовий зсув акустичних коливань, або одночасно на них обох. В дослідженні також підтверджено, що неруйнівний акустичний контроль добре піддається автоматизації і інтегруванню в різноманітні комп'ютерно-інтегровані системи керування і SCADA-системи.*

**Ключові слова:** багатовісна тканина, механізм фіксації шарів, поверхнева густина, хімічна система переплетення, шар ниток.

**Постановка проблеми.** Багатовісні тканини (мультиаксіальні тканини, multi-axial fabrics) – це спеціальні тканини, які складаються з кількох шарів ниток, що орієнтовані в різних напрямках у відповідності із заданою системою переплетення. Кількість шарів ниток, їх орієнтація, способи з'єднання шарів ниток між собою і деякі інші властивості системи переплетення звичайно визначаються, виходячи з області використання таких тканин і допустимого навантаження (механічного, електричного, хімічного тощо), яке буде здійснюватися на такі тканини. Нитки багатовісних тканин можуть виготовлятися з достатньо різних за своїми фізико-хімічними властивостями матеріалів, таких як джутути, ровінги, вовняні

і армуючі волокна, плівки і так далі. Таким чином, склад багатовісних тканин може бути достатньо різноманітним, причому в одній і тій же самій тканині кожен окремих шар може бути виготовленим з різних матеріалів, а кожен сусідні шари можуть бути з'єднані різними способами. Зважаючи на це, поверхнева густина і інші властивості багатовісних тканин можуть змінюватися в широкому діапазоні значень.

В залежності від матеріалів, які використовуються для ниток, багатовісні тканини класифікуються як арамідні, вуглецеві, скляні, керамічні, поліамідні, поліетиленові, поліефірні, поліетилентерефталатні, поліпропіленові, поліоксидозольні, поліолефінові і деякі інші. Механізм

фіксації шарів багатовісної тканини, включаючи захисні і / або внутрішні шари, полягає у використанні прошивки нитками і / або у використанні хімічних систем переплетення (хімічна система переплетення полягає в фіксації шарів за допомогою хімічних властивостей в'язучої речовини).

В свою чергу, багатовісні тканини як окремих вироб можуть з'єднуватися одна з одною, формуючи більш товсту і, відповідно, більш складну конструкцію заданого призначення. Вимоги до багатовісних тканин визначаються кількома стандартами, одними з яких є європейські регіональні стандарти [1, 2, 3].

Область використання багатовісних тканин є дуже широкою: це автомобілебудування (елементи кузовів транспортних засобів, чохли і тенти), авіабудування (елементи корпусів і обтічників літальних апаратів), будівництво (армовані несучі конструкції, профілі для вікон і дверей, ємності і резервуари), товари для спорту і туризму (елементи корпусів плавальних засобів, палатки), медичні засоби (протезування, відновлення функцій руху) і так далі.

Порівнюючи між собою багатовісні тканини (з одного боку) та, наприклад, склотканини і скломати (з іншого боку), можна дійти висновку, що багатовісні тканини є більш універсальними (зокрема, у більшості склотканин всі нитки знаходяться в упорядкованому стані, але тільки в одному шарі, а у більшості скломатів всі нитки знаходяться в кількох шарах, які з'єднані між собою за допомогою в'язучої речовини, але в хаотичному стані). Багатовісні тканини мають багато переваг: по-перше, нитки в багатовісних тканинах можна розташовувати в різних напрямках (під різними кутами); по-друге, за рахунок відсутності переплетення ниток шари в багатовісних тканинах розташовуються більш щільно один до одного, і це дозволяє економити до (15...30)% в'язучої речовини; по-третє, при

тій же самій міцності поверхнева густина багатовісних тканин зменшується на (40...50)%; по-четверте, можна обходитися мінімальною кількістю шарів ниток; по-п'яте, поверхня багатовісних тканин є гладкою.

Поверхнева густина багатовісних тканин, які випускаються, звичайно лежить в діапазоні від 300 до 2400 г/м<sup>2</sup>. Орієнтація ниток звичайно становить -90, -45, 0, +45 і +90°, хоча допускається і їх довільна орієнтація в діапазонах від -90 до -20° і від +20 до +90° (кути звичайно визначаються між напрямом руху тканин при їх виробництві і напрямом розташування ниток). Наприклад, двовісні тканини можуть бути із орієнтацією ниток 0 і +90° (див. рис. 1, а), тривісні – із орієнтацією ниток -45, 0 і +45° (див. рис. 1, б), а чотиривісні – із орієнтацією ниток -45, 0, +45 і +90° (див. рис. 1, в).

#### Аналіз останніх досліджень і публікацій.

До однієї з найважливіших властивостей багатовісних тканин відноситься їх маса на одиницю площі (тобто поверхнева густина). Відповідно до нормативної документації, її необхідно наносити на кожен упаковку з такими тканинами. Маса на одиницю площі багатовісних тканин, зокрема, повинна визначатися згідно з методом, наведеним в [4], шляхом відбору проб згідно з планами, наведеними в [5]. Такий метод є або руйнівним (так як передбачає викроювання проб за допомогою шаблону і інструмента для обрізання), або незручним і неточним (так як передбачає використання в якості проби всієї багатовісної тканини, змотаної в рулон). Що ж стосується, наприклад, визначення масових часток вологи і речовин, які вилучаються при прожарюванні, то воно також передбачає відбір проб згідно з [5]. Наведений в [4] метод практично завжди забезпечує потрібну точність вимірювання. Але час, витрачений на одне вимірювання, може займати кілька одиниць і навіть десятків хвилин. Якщо висока точність

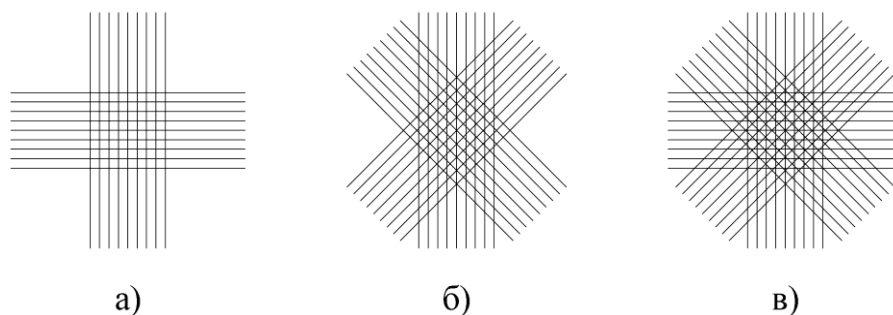


Рис. 1. Орієнтація ниток багатовісних тканин: а) двоспрямована; б) триспрямована; в) чотириспрямована

вимірювання маси на одиницю площі багатовісних тканин не є дуже необхідною, а час вимірювання не повинен перевищувати кількох секунд, у нагоді можуть стати тіньові акустичні методи неруйнівного акустичного контролю згідно з [6].

**Постановка завдання.** Полягає в розробці структури зразкових і вимірювальних каналів, які використовують амплітудний і фазовий тіньові акустичні методи контролю. Перший з них ґрунтується на порівнянні амплітуд акустичних коливань, які проходять повітряне середовище без багатовісної тканини і з такою тканиною. Другий ґрунтується на порівнянні фаз акустичних коливань, які, так само, як і в першому випадку, проходять повітряне середовище без багатовісної тканини і з такою тканиною. Шлях проходження акустичних коливань без багатовісної тканини може вважатися зразковим, а з багатовісною тканиною – вимірювальним.

**Виклад основного матеріалу.** В дослідженні було послідовно розглянуто амплітудний (див. рис. 2) і фазовий (див. рис. 3) тіньові акустичні методи контролю з точки зору їх використання при дослідженні поверхневої густини і інших власти-

востей (товщини, втрати маси при прожарюванні, умісту апрету і вологи тощо) багатовісних тканин, в тому числі шляхом використання автоматизованої скануючої системи [7]. Як у випадку використання амплітудного, так і у випадку використання фазового тіньових акустичних методів, створювані генератором гармонійних коливань 1 коливання частотою (40...120) кГц підсилюються підсилювачем потужності 2, і одночасно з цим з них генератором прямокутних імпульсів 3 формуються пакети з 15...25 коливань. Типова частота слідування таких пакетів становить (0,5...2) Гц.

Зразковий канал розповсюдження акустичних коливань утворюється електроакустичним випромінювачем 4 і акустоелектричним приймачем 7, Аналогічним чином, вимірювальний канал утворюється електроакустичним випромінювачем 5, багатовісною тканиною 6 і акустоелектричним приймачем 8. Одночасне використання зразкового і вимірювального каналів дозволяє врахувати температурну зміну швидкості розповсюдження акустичних коливань через повітряне середовище. Попередні підсилювачі 9 і 10 підсилюють прийняті пакети електричних коливань до рівня,

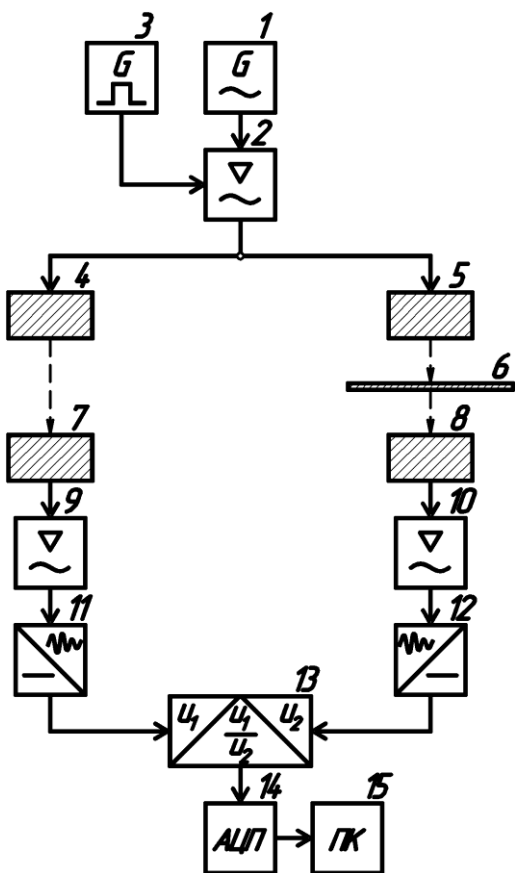


Рис. 2. Спрощена схема реалізації амплітудного тіньового акустичного методу контролю

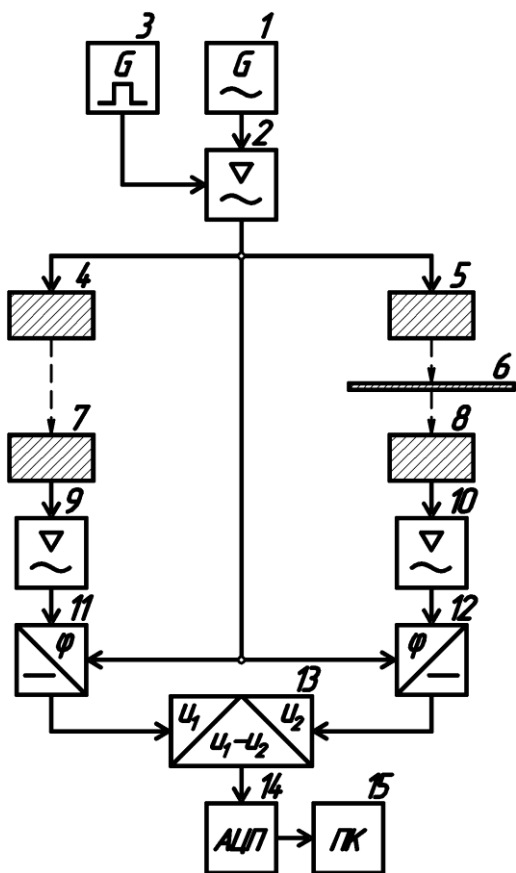


Рис. 3. Спрощена схема реалізації фазового тіньового акустичного методу контролю

коли їх можна використовувати для амплітудного або фазового детектування.

Амплітудний тіньовий акустичний метод контролю (див. рис. 2) передбачає використання амплітудних детекторів 11 і 12, які формують напруги  $u_1$  і  $u_2$  огинаючих відповідно зразкового і вимірювального прийнятих пакетів акустичних коливань, які перетворені в пакети електричних коливань. Наявність у вимірювальному каналі багатовісної тканини 6 приводить до суттєвого зменшення значення  $u_2$ , внаслідок чого відношення  $u_1/u_2$  на виході блока ділення 13 може змінюватися в широкому діапазоні значень. Таке відношення оцифровується аналого-цифровим перетворювачем 14 і надходить до промислового комп'ютера 15, де обробляється за допомогою відповідного програмного забезпечення.

Фазовий тіньовий акустичний метод контролю (див. рис. 3), на відміну від амплітудного, передбачає використання фазових детекторів 11 і 12 замість амплітудних, які формують напруги  $u_1$  і  $u_2$ , що пропорційні фазовим зсувам прийнятих пакетів електричних коливань відносно пакетів електричних коливань на виході підсилювача потужності 2. Такі зсуви, і, відповідно, напруги  $u_1$  і  $u_2$  будуть різними внаслідок наявності у вимірювальному каналі "перешкоди" у вигляді багатовісної тканини 6. Така різниця

$u_1 - u_2$  також оцифровується аналого-цифровим перетворювачем 14 і надходить до промислового комп'ютера 15.

Амплітудний і фазовий тіньові акустичні методи контролю можуть використовуватися як окремо, так і разом.

Технічними засобами на основі таких методів можна контролювати, наприклад, поверхневу густину багатовісної тканини (яка може бути різною в різних місцях по площі такої тканини внаслідок використання в цих місцях різної кількості в'язучої речовини) (див. рис. 4).

Також, наприклад, можна контролювати товщину одного з шарів багатовісної тканини (див. рис. 5).

Крім цього, наприклад, можна контролювати наявність непроклеювання між шарами багатовісної тканини (див. рис. 6).

Неруйнівний акустичний контроль можна здійснювати одночасно в кількох характерних точках багатовісної тканини, використовуючи або паралельно кілька пар зразкових / вимірювальних каналів, або послідовно обходячи такі точки [7]. В якості чутливих елементів електроакустичних випромінювачів 4 і 5 та акустоелектричних приймачів 7 і 8 звичайно використовується п'єзоелектрична кераміка, коефіцієнти електро-механічного зв'язку, відносна діелектрична про-



Рис. 4. Багатовісна тканина з різною кількістю в'язучої речовини

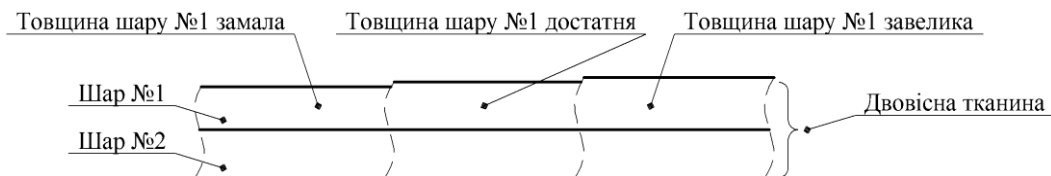


Рис. 5. Багатовісна тканина з різною товщиною одного з шарів

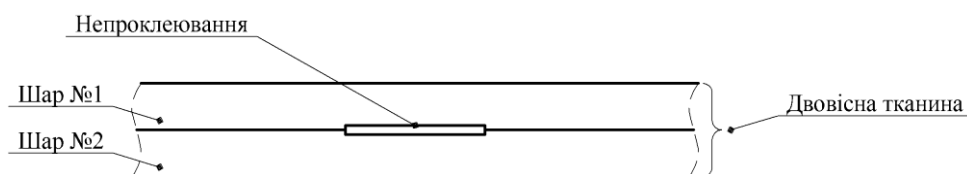


Рис. 6. Багатовісна тканина з непроклеюванням між шарами

никність і інші параметри якої від партії до партії можуть відрізнятись на (10...15...20)%. Але шляхом калібрування попередніх підсилювачів та амплітудних / фазових детекторів вплив неоднаковості властивостей п'єзоелектричної кераміки можна практично повністю уникнути.

Неруйнівний акустичний контроль доцільно використовувати тоді, коли необхідно контролювати тільки якусь одну властивість багатовісної тканини (наприклад, поверхневу густину) за умови, що всі інші її властивості або є практично незмінними, або змінюються несуттєво. Досвід проведення розрахунків і експериментів [8, 9, 10] показує, що таку поверхневу густину  $\sigma$  [г/м<sup>2</sup>] можна однозначно зв'язати або з загасан-

ням у вигляді  $\sigma = f(u_1/u_2)$ , або з фазовим зсувом у вигляді  $\sigma = f(u_1 - u_2)$ , або одночасно з ними обома – принаймні, в невеликому діапазоні її зміни.

Ще однією перевагою неруйнівного акустичного контролю (див. рис. 2 і рис. 3) є те, що він дуже добре піддається автоматизації і інтегруванню в різноманітні комп'ютерно-інтегровані системи керування і SCADA-системи.

**Висновки.** В статті показано, що неруйнівний акустичний контроль властивостей текстильних матеріалів, і, зокрема, багатовісних тканин є перспективним напрямом, який може бути застосований як доповнення до "традиційних" руйнівних методів контролю таких матеріалів.

#### Список літератури:

1. EN 13473:2001 Reinforcement – Specifications for multi-axial multi-ply fabrics – Part 1: Designation (Армування – Специфікації для багатовісних багатосарових тканин – Частина 1: Позначення).
2. EN 13473:2001 Reinforcement – Specifications for multi-axial multi-ply fabrics – Part 2: Methods of test and general requirements (Армування – Специфікації для багатовісних багатосарових тканин – Частина 2: Методи випробувань і загальні вимоги).
3. EN 13473:2001 Reinforcement – Specifications for multi-axial multi-ply fabrics – Part 3: Specific requirements (Армування – Специфікації для багатовісних багатосарових тканин – Частина 3: Спеціальні вимоги).
4. ISO 3374:90 Textile glass mats – Determination of mass per unit area (Текстильні скломати – Визначення маси на одиницю площі).
5. ISO 1886:90 Reinforcement fibres – Sampling plans applicable to received batches (Армуючі волокна – Плани відбору проб, які застосовуються до отриманих партій).
6. ДСТУ 2865-94 Контроль неруйнівний. Терміни та визначення.
7. Лісовець С.М. Контроль поверхневої густини текстильних матеріалів шляхом використання автоматизованої скануючої системи / С.М. Лісовець, С.В. Барилко, А.С. Зенкін, В.Г. Здоренко. *Метрологія та прилади*. 2019. № 5 (79). С. 52–55. DOI: 10.33955/2307-2180(5)2019.52-55.
8. Здоренко В.Г. Застосування фазового та амплітудно-фазового акустичних методів для автоматизованого контролювання поверхневої щільності текстильних матеріалів / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, С.М. Лісовець, Д.О. Шипко, Ю.О. Дерій *Стандартизація, сертифікація, якість*. 2019. № 2 (114). С. 86–94.
9. Здоренко В.Г. Дослідження проходження ультразвукових хвиль крізь двошаровий матеріал із складною структурою при контролі його технологічних параметрів / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, С.М. Лісовець, Д.О. Шипко. *Вісник КНУТД*. 2020. № 1 (142). С. 50–62. DOI:10.30857/1813-6796.2020.1.5.
10. Здоренко В.Г. Застосування ультразвукового пристрою для визначення поверхневої густини текстильної волоконної маси / В.Г. Здоренко, С.В. Барилко, С.М. Лісовець, Д.О. Шипко. *Вісник КНУТД*. 2020. № 5 (150). С. 67–73. DOI:10.30857/1813-6796.2020.5.6.

#### Lisovets S.M., Kiva I.L., Guida O.G. NON-DESTRUCTIVE ACOUSTIC CONTROL OF SURFACE DENSITY AND OTHER PROPERTIES OF MULTI-AXIAL FABRICS: ADVANTAGES AND DISADVANTAGES

*The article is devoted to means of researching the properties of some textile materials, which have long been used by people in large quantities in everyday life and industrial activities, and their assortment, depending on the purpose, is very diverse. In the conducted research, fabrics related to textile materials consisting of several layers of threads placed relative to each other in different directions (along different axes) were considered – these are the so-called multi-axial fabrics. It states that the properties of textile materials are usually controlled using various destructive methods, when a sample (fragment) of the textile material is first obtained, and then its properties are measured and analyzed. It was also established that the main disadvantage of destructive control methods is the lack of efficiency when it is necessary to control the textile material (multi-axial fabric), for example, in the production process, quickly assessing its properties and influencing,*

*if necessary, the technological process of its manufacture. It is known that acoustic control methods that use non-contact acoustic transducers and are non-destructive can be used as a supplement and sometimes as a replacement for existing destructive methods. It has been established that in such cases, shadow methods are appropriately used, when the acoustic transducers are located on different sides of the multi-axial fabric. It was also established that in the case of controlling one property of a multi-axial fabric, for example, the surface thickness, the thickness of one of the layers, or non-gluing, it usually has an unambiguous effect on the attenuation or phase shift of acoustic vibrations, or on both of them at the same time. The research also confirmed that non-destructive acoustic monitoring is well suited to automation and integration into various computer-integrated control systems and SCADA systems.*

**Key words:** *multi-axial fabric, layer fixing mechanism, surface density, chemical weaving system, thread layer.*